Caractérisation expérimentale de la propagation acoustique en forêt

Gwenaël GUILLAUME Philippe GLÉ Laurent BRENDEL Lucile ASTOUL

Cerema, Université Gustave Eiffel, UMRAE

JOURNEES TECHNIQUES ACOUSTIQUE ET VIBRATIONS

Contexte

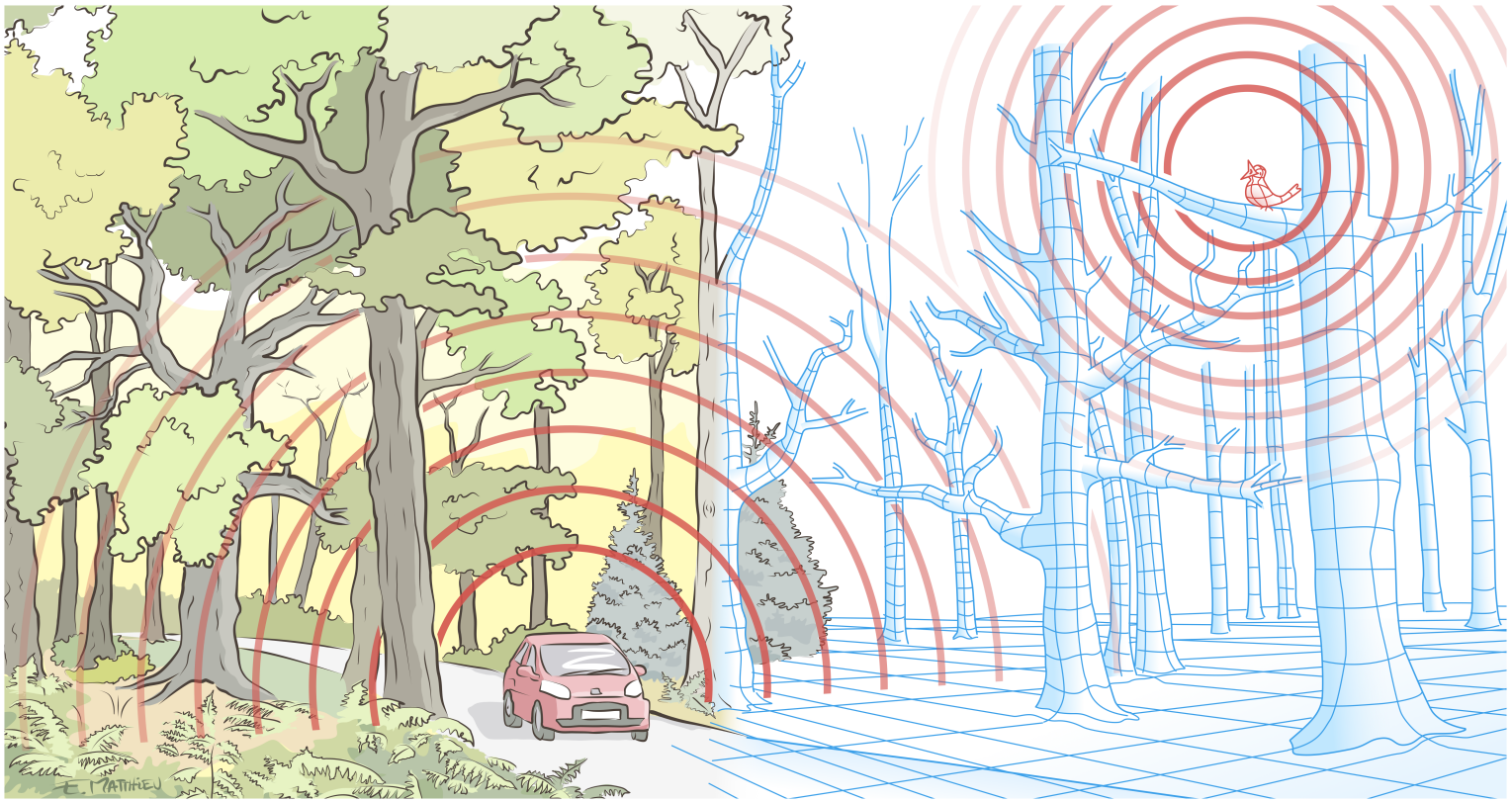
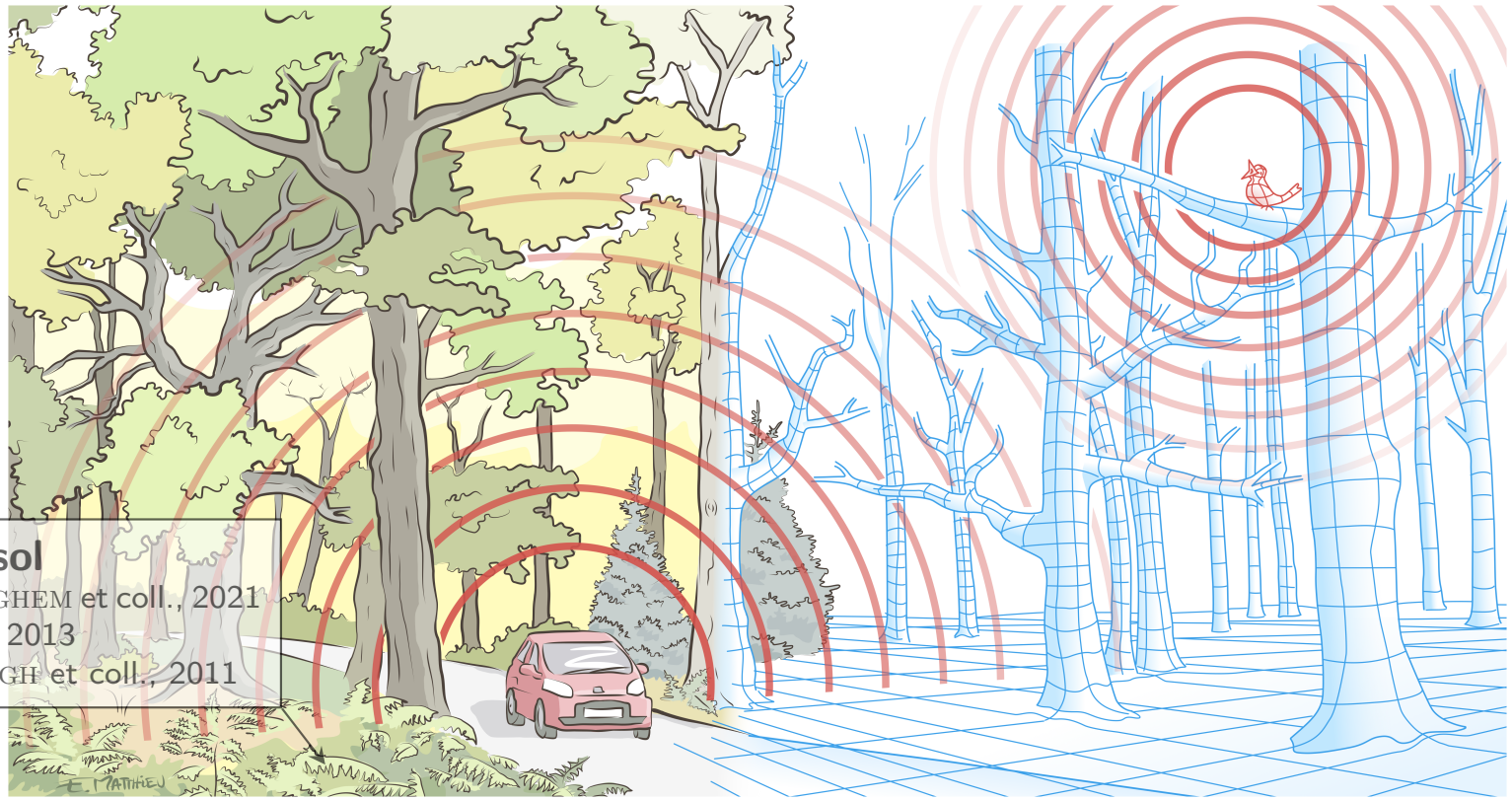


Illustration extraite de la thèse de Goestchel, 2023

Goestchel, Q. « Acoustic propagation in forest environments : time domain numerical methods toward bioacoustic applications ». Thèse de doct. Le Mans Université, 2023.

Contexte



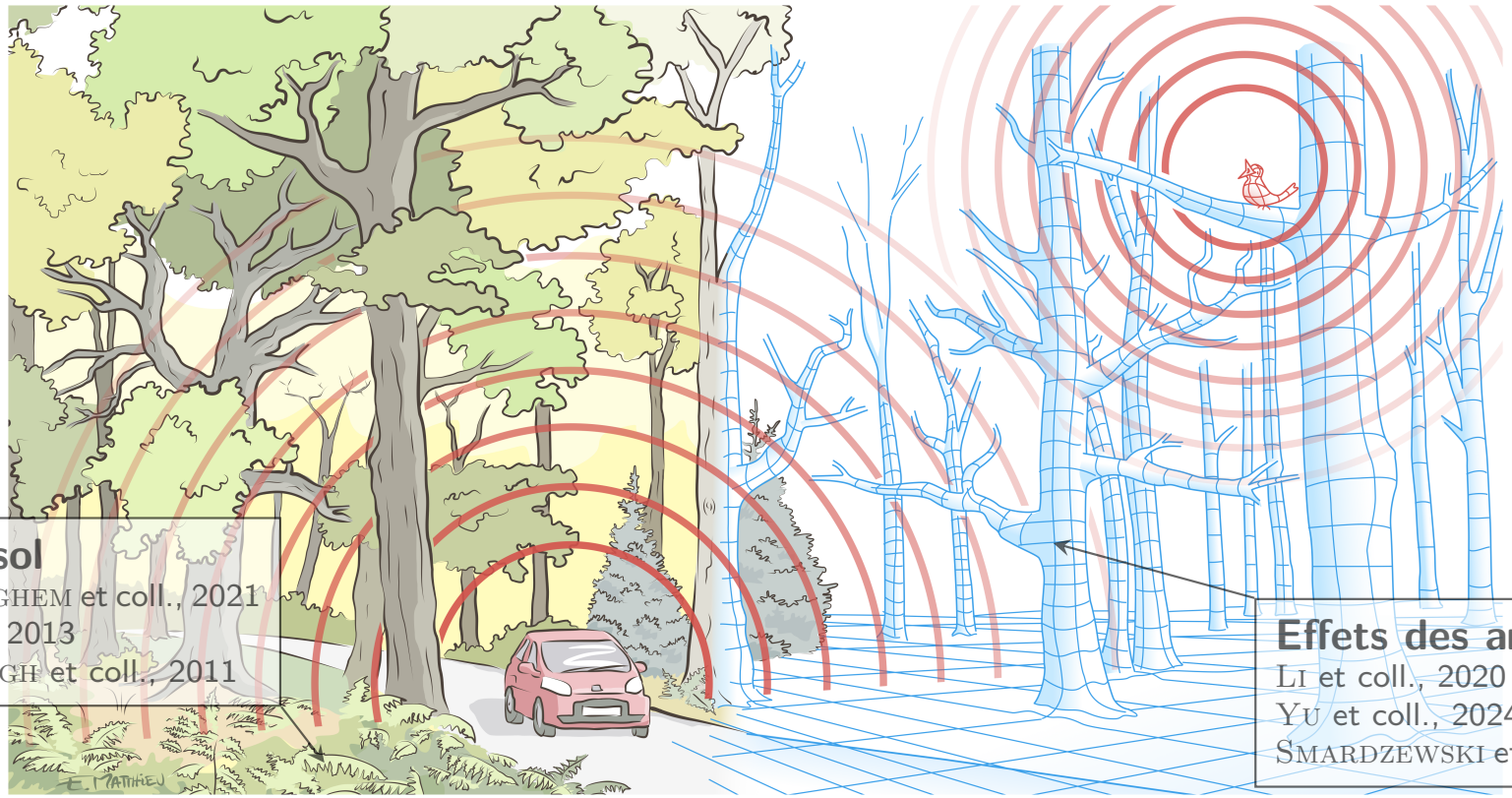
Effets de sol
Van Renterghem et coll., 2021
Ding et coll., 2013
Attenborough et coll., 2011

Van Renterghem, T. et coll. « Effect of tree species and season on the ability of forest floors to abate environmental noise ». *Applied Acoustics* **184** (2021).

Ding, L. et coll. « Sound absorption of porous substrates covered by foliage : Experimental results and numerical predictions ». *The Journal of the Acoustical Society of America* **134**(6) (2013).

Attenborough, K. et coll. « Outdoor ground impedance models ». *The Journal of the Acoustical Society of America* **129**(5) (2011).

Contexte



Effets de sol
Van Renterghem et coll., 2021
Ding et coll., 2013
Attenborough et coll., 2011

Effets des arbres
Li et coll., 2020
Yu et coll., 2024
Smardzewski et coll., 2013

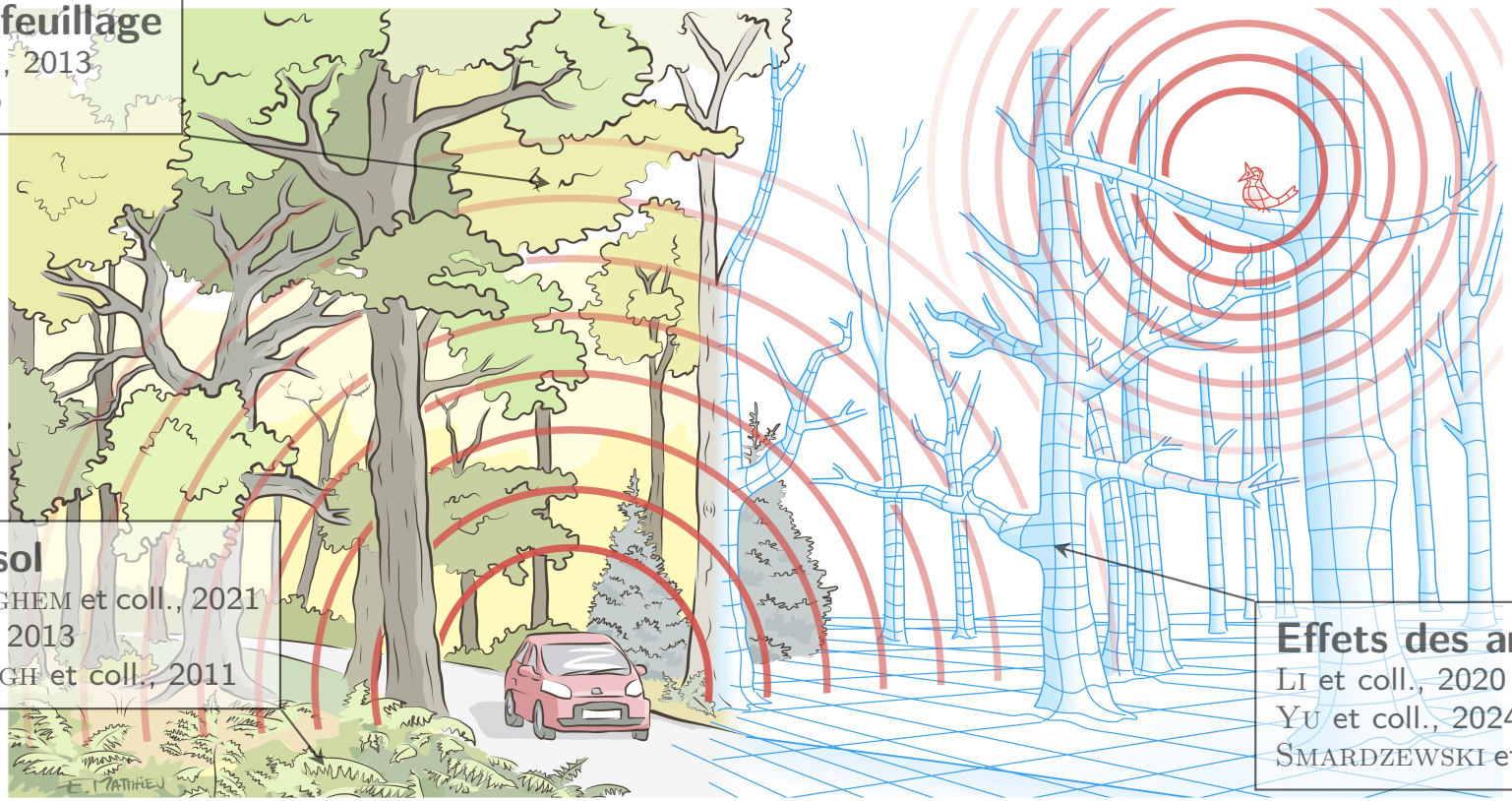
Li, M. et coll. « Sound absorption by tree bark ». *Applied Acoustics* **165** (2020).

Yu, Y. et coll. « The effect of 3D surface roughness on acoustic wave propagation in a cylindrical waveguide ». *Wave Motion* **128** (2024).

Smardzewski, J. et coll. « Experimental study of wood acoustic absorption characteristics ». *Holzforschung* **68** (2013).

Contexte

Effets du feuillage
Yang et coll., 2013
Bucur, 2006



Effets de sol
Van Renterghem et coll., 2021
Ding et coll., 2013
Attenborough et coll., 2011

Effets des arbres
Li et coll., 2020
Yu et coll., 2024
Smardzewski et coll., 2013

Yang, H.-S. et coll. « Quantifying scattered sound energy from a single tree by means of reverberation time ». *The Journal of the Acoustical Society of America* **134**(1) (2013).

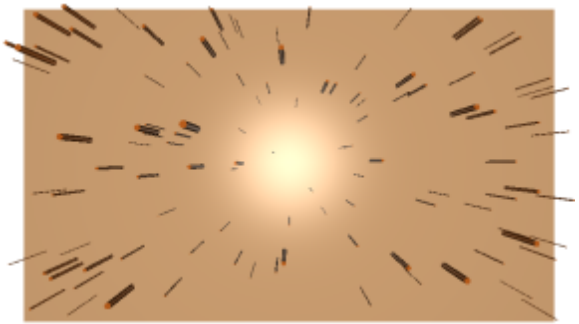
Bucur, V. *Acoustics of Wood*. Sous la dir. de T. E. Timell et coll. Springer Series in Wood Science. Berlin, Heidelberg : Springer, 2006.

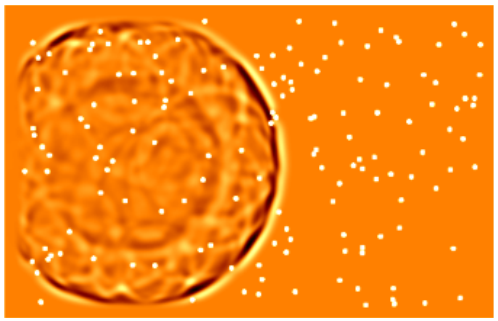
Objectifs

Objectifs :

- améliorer la connaissance concernant la propagation du son en forêt (cartographie du bruit, suivi bioacoustique)
- disposer d'une base de données expérimentales exhaustive* pour permettre
  - de simuler de façon réaliste la propagation acoustique
  - de comparer les résultats de simulations numériques aux mesures

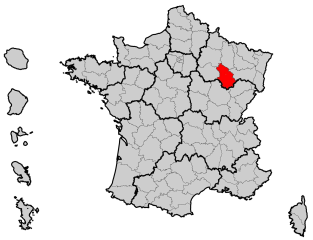
* position des capteurs et enregistrements, position et nature des arbres, paramètres caractéristiques du sol, etc.





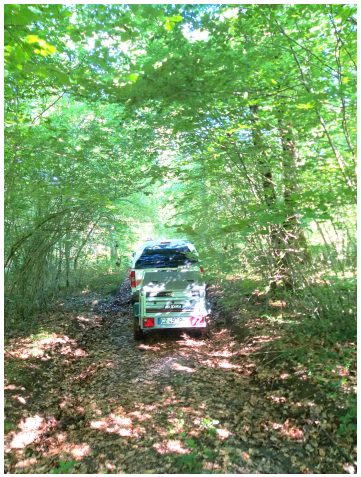
1. Campagne expérimentale
2. Post-traitements et analyses
3. Conclusion et perspectives

Site expérimental – Marteloscope (Haute-Marne, 52)

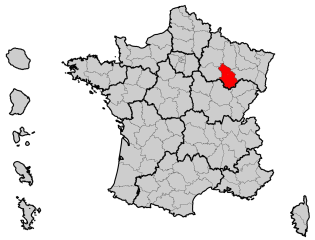


Caractéristiques du site :

- absence d'axes routiers/ferroviaires/aériens
- parcelle d'environ 1 ha accessible en véhicule
- arbres répartis aléatoirement
- arbres géoréférencés et caractérisés (essence, diamètre, etc.)

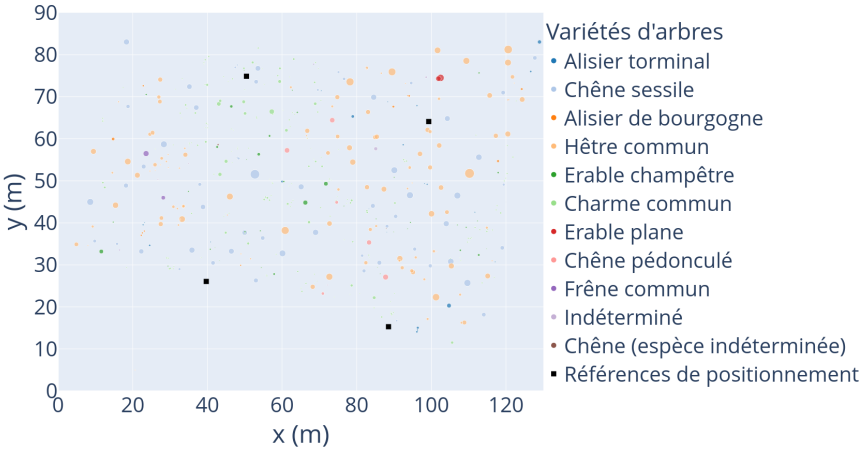


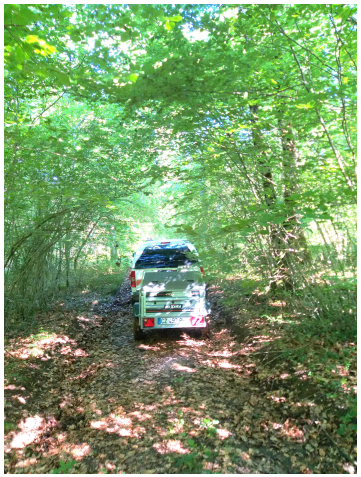
Site expérimental – Marteloscope (Haute-Marne, 52)



Caractéristiques du site :

- absence d'axes routiers/ferroviaires/aériens
- parcelle d'environ 1 ha accessible en véhicule
- arbres répartis aléatoirement
- arbres **géoréférencés et caractérisés** (essence, diamètre, etc.)

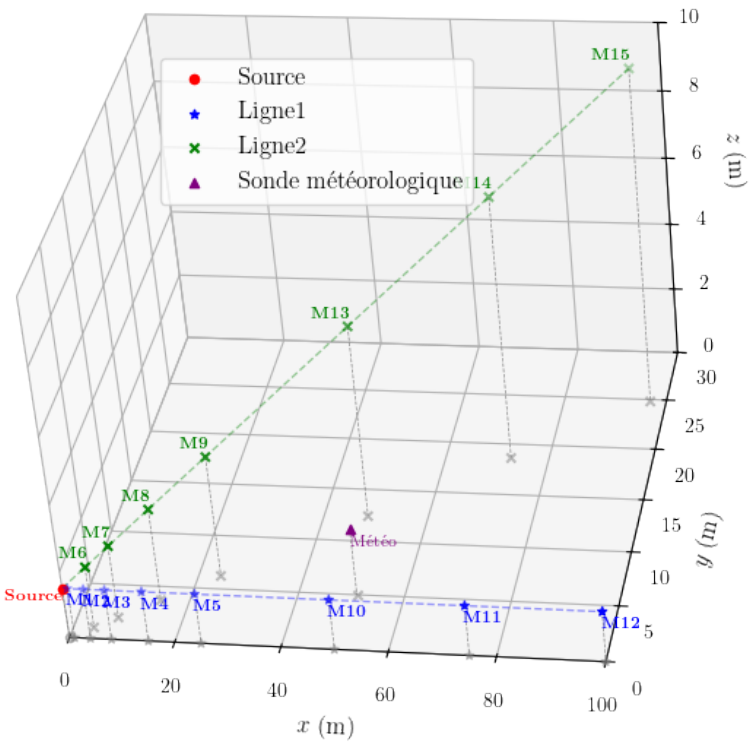




Dispositif expérimental – Mesures acoustiques et météos

- système d'acquisition Soundbook MK2 + SINUS Expander (16 canaux)
- 1 source sonore omnidirectionnelle* B&K 4296 + amplificateur B&K 2734
- 2×8 microphones* (2 axes de propagation)
- 1 sonde météorologique* au centre de la zone

* capteurs géolocalisés relativement à 3 arbres circonvoisins



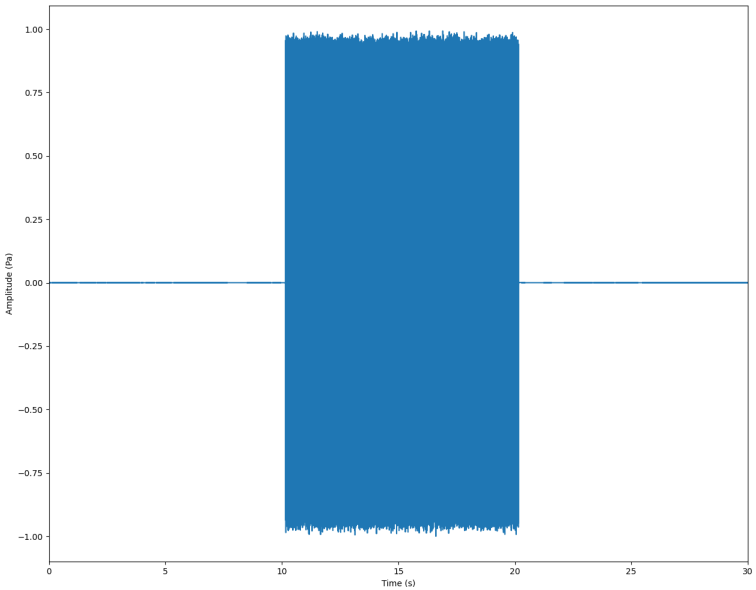
Capteur	Distance à la source (m)	Hauteur (m)	Ligne
Source	-	1,5	1 & 2
M1†	1	1,5	1 & 2
M2†	4	1,5	1
M3†	8	1,5	1
M4†	15	1,5	1
M5†	25	1,5	1
M10‡	50	1,5	1
M11‡	75	1,5	1
M12‡	100	1,5	1
M6†	4	1,84	2
M7†	8	2,18	2
M8†	15	2,77	2
M9†	25	3,62	2
M13‡	50	5,75	2
M14‡	75	7,87	2
M15‡	100	10,00	2
Météo	51	1,8	-

† Brüel & Kjær 4189 (pré-amp B&K 2671
‡ BSWA MPA466

Protocole expérimental – Émission acoustique et enregistrements

- **Émission acoustique :**
  - 5 séquences audio (10 répétitions/séquence)

Type de signal	Composition de la séquence			Durée totale (s)
	Bruit de fond amont (s)	Emission (s)	Bruit de fond aval (s)	
Bruit blanc	10	10	10	30
Bruit rose	10	10	10	30
Séquence MLS	10	10	0	20
Sweep logarithmique	10	10 (5 sweeps de 2 s)	0	20
Sweep linéaire	10	10 (5 sweeps de 2 s)	0	20



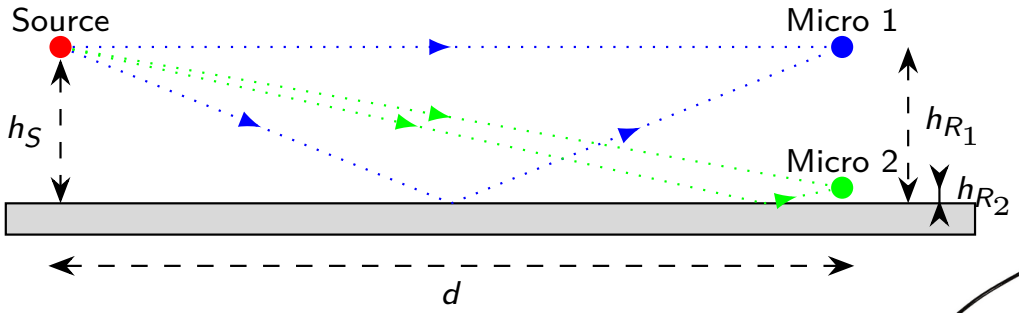
Séquence audio du bruit blanc

- **Enregistrements pour chaque microphone :**
  - signaux audio
  - $L_{\text{eq@1/3 oct.}}$ $(\Delta t = 5\ \text{ms},\ f_c \in [10, 20\text{k}]\ \text{Hz})$
  - FFT $(\Delta t = 120\ \text{ms},\ f \in [50, 20\text{k}]\ \text{Hz}$ avec $\Delta f = 50\ \text{Hz})$
- **Enregistrements météorologiques** $(\Delta t = 1\ \text{min})$ **:**
  - température T (°C), humidité relative (%), vitesse (m.s^{-1}) et direction (°) du vent

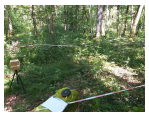
Protocole expérimental – Mesures d'impédance et d'humidité

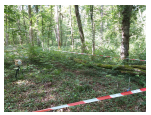
- 5 zones de mesures (x5 mesures / zone)
- système MIAME*

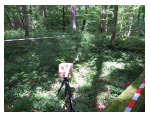
* Mesure de l'Impédance Acoustique des Matériaux de l'Environnement (Guillaume et coll., 2015 ; Ecotière et coll., 2015)



- mesures du taux d'humidité du sol





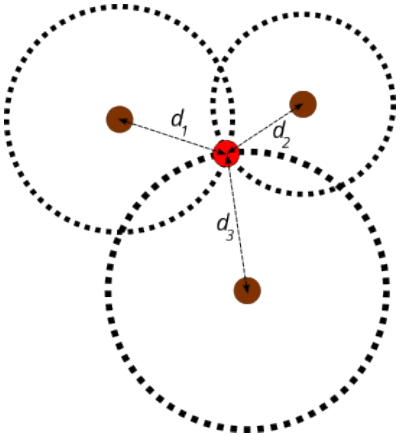


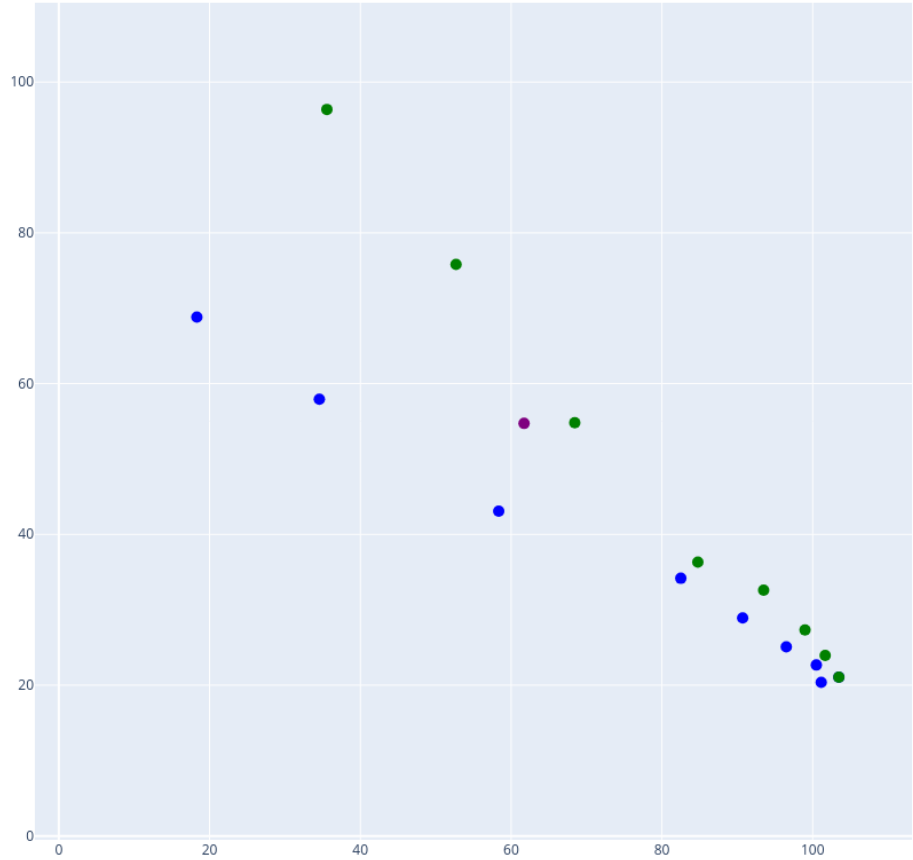
Guillaume, G. et coll. « Estimation of impedance model input parameters from in situ measurements : Principles and applications ». *Applied Acoustics* **95** (2015).

Ecotière, D. et coll. « Uncertainty of an in situ method for measuring ground acoustic impedance ». In : *Proceedings of Internoise 2015*. San Francisco, California, USA, 2015.

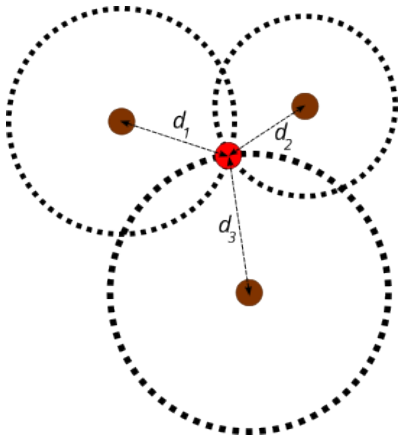
Positions des microphones

Positions « brutes »

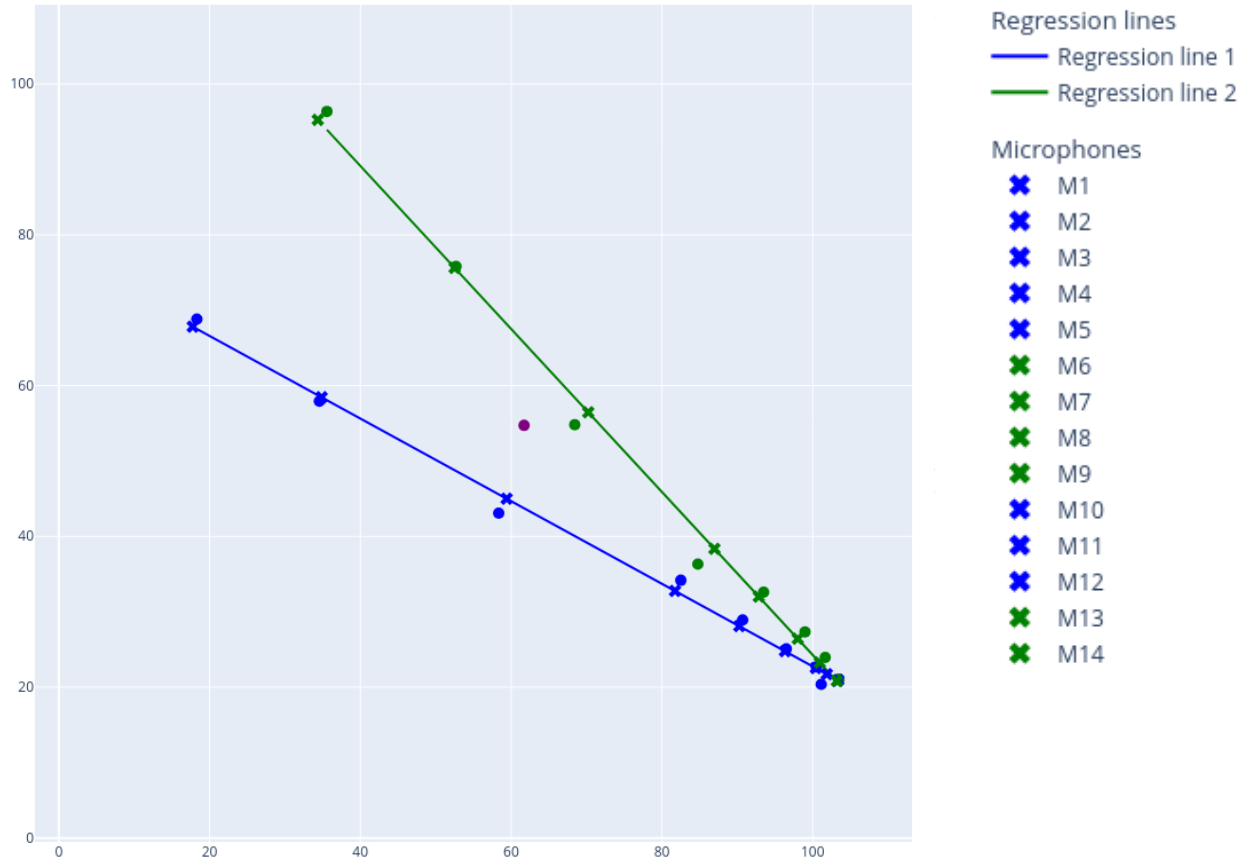




Positions des microphones

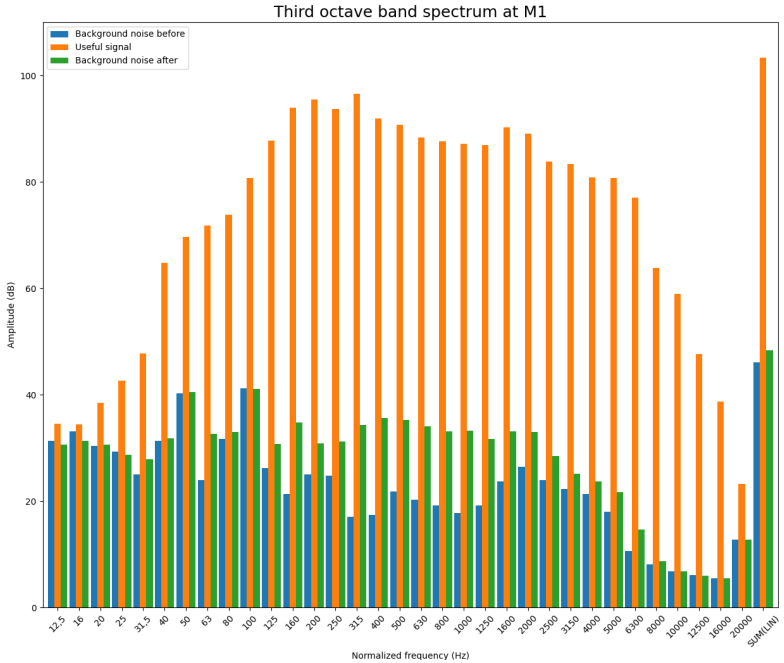


Positions corrigées (alignées)



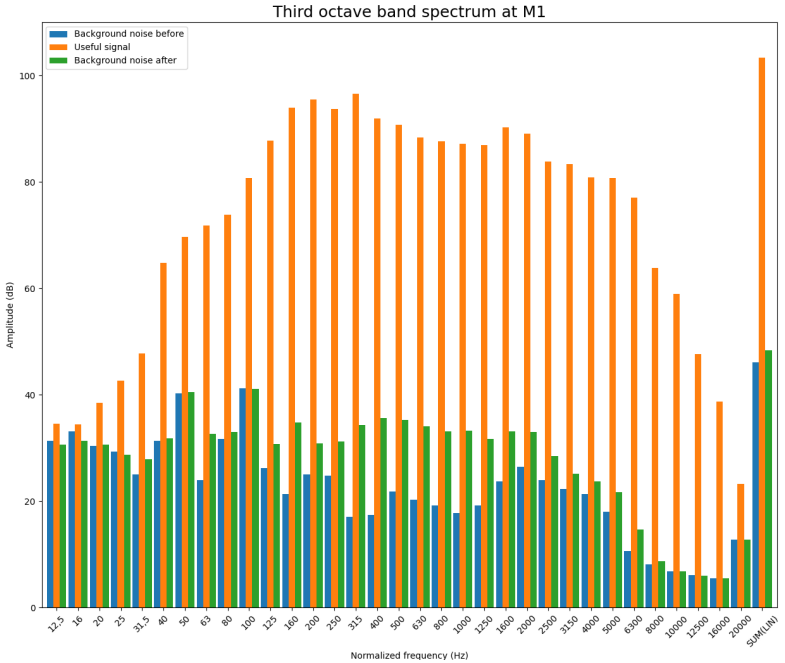
Spectres par bande de $^1/_3$ d'octave

Ligne 1



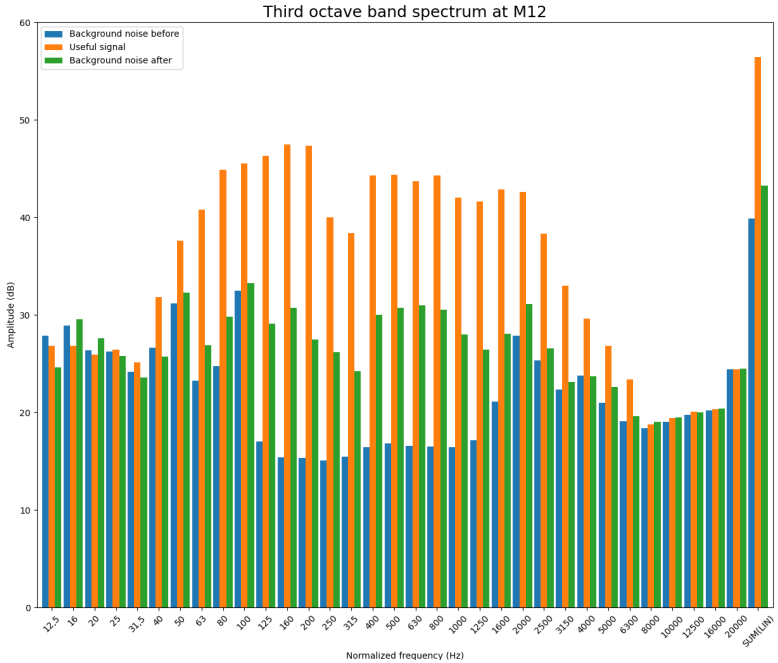
1m

Ligne 2



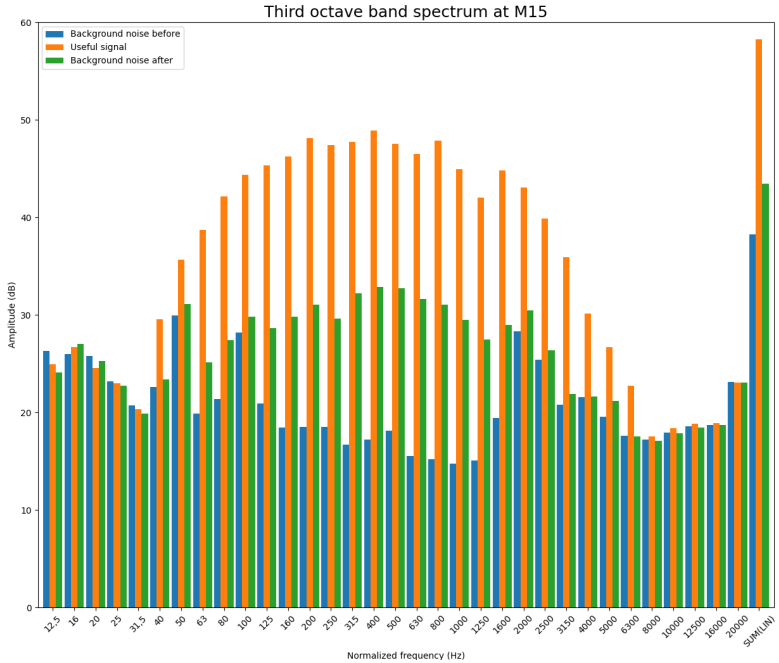
Spectres par bande de $^1/_3$ d'octave

Ligne 1



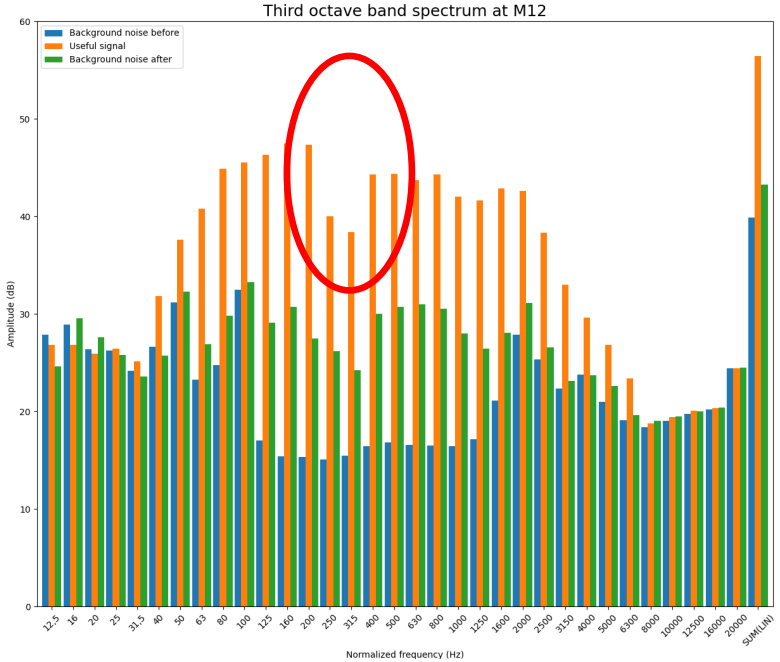
100m

Ligne 2



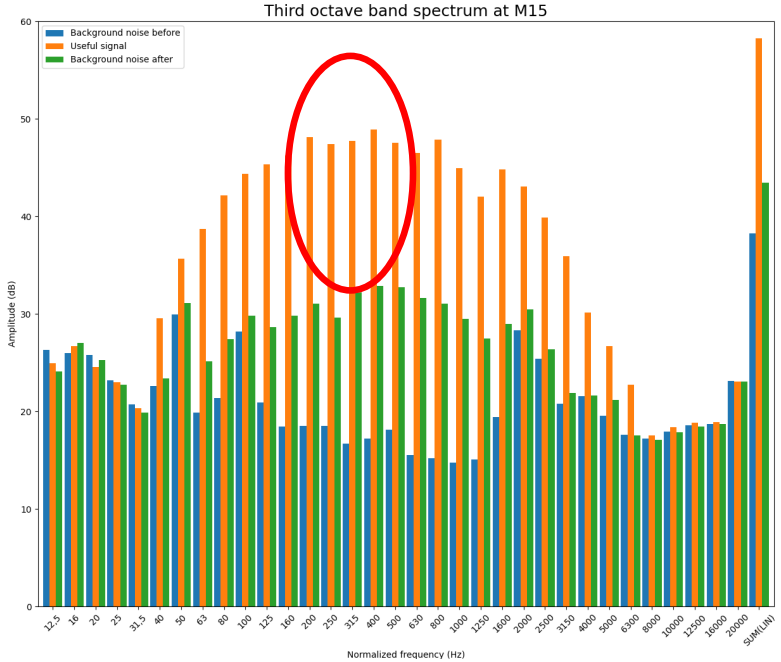
Spectres par bande de $^1/_3$ d'octave

Ligne 1

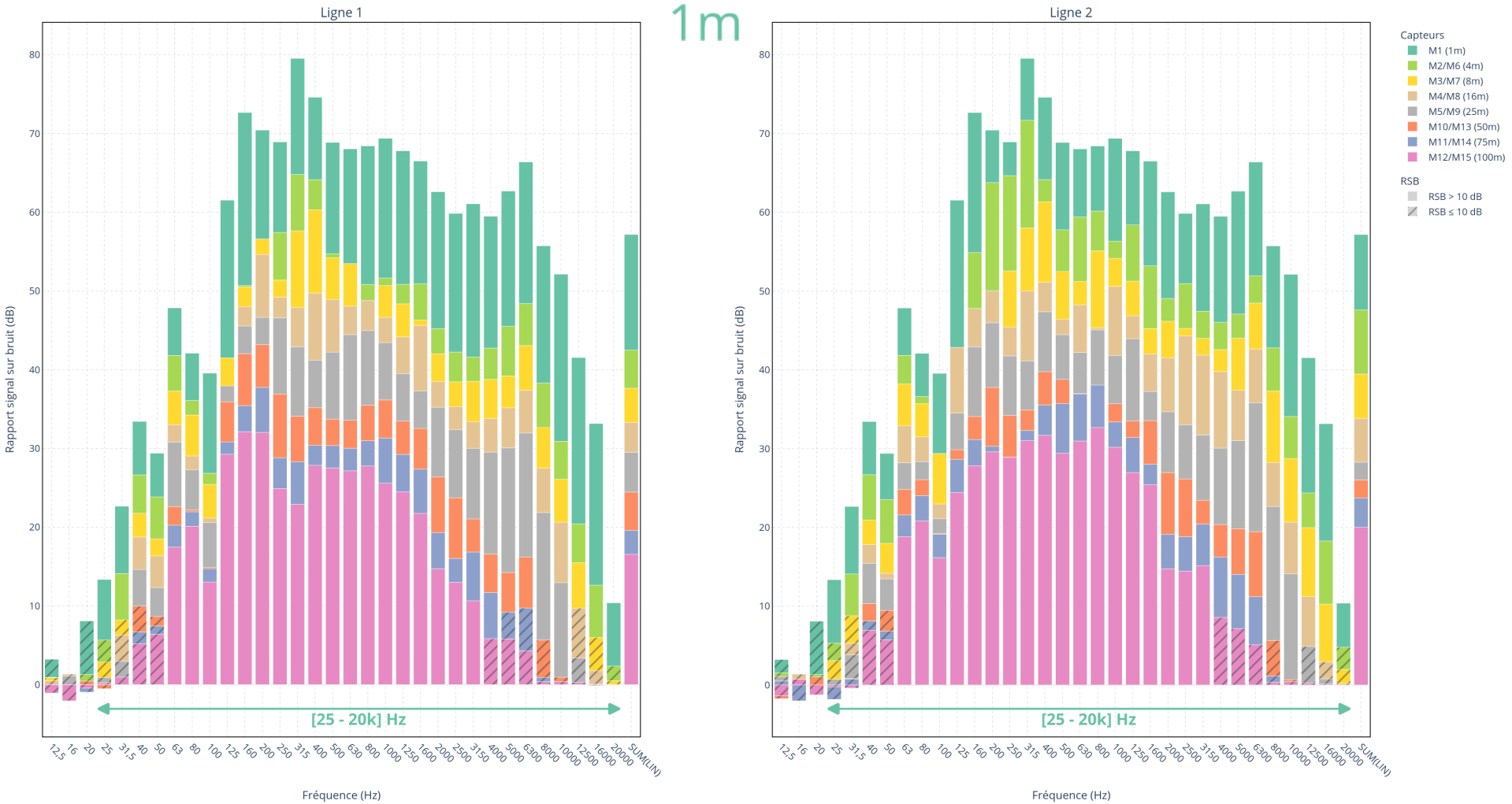


100m

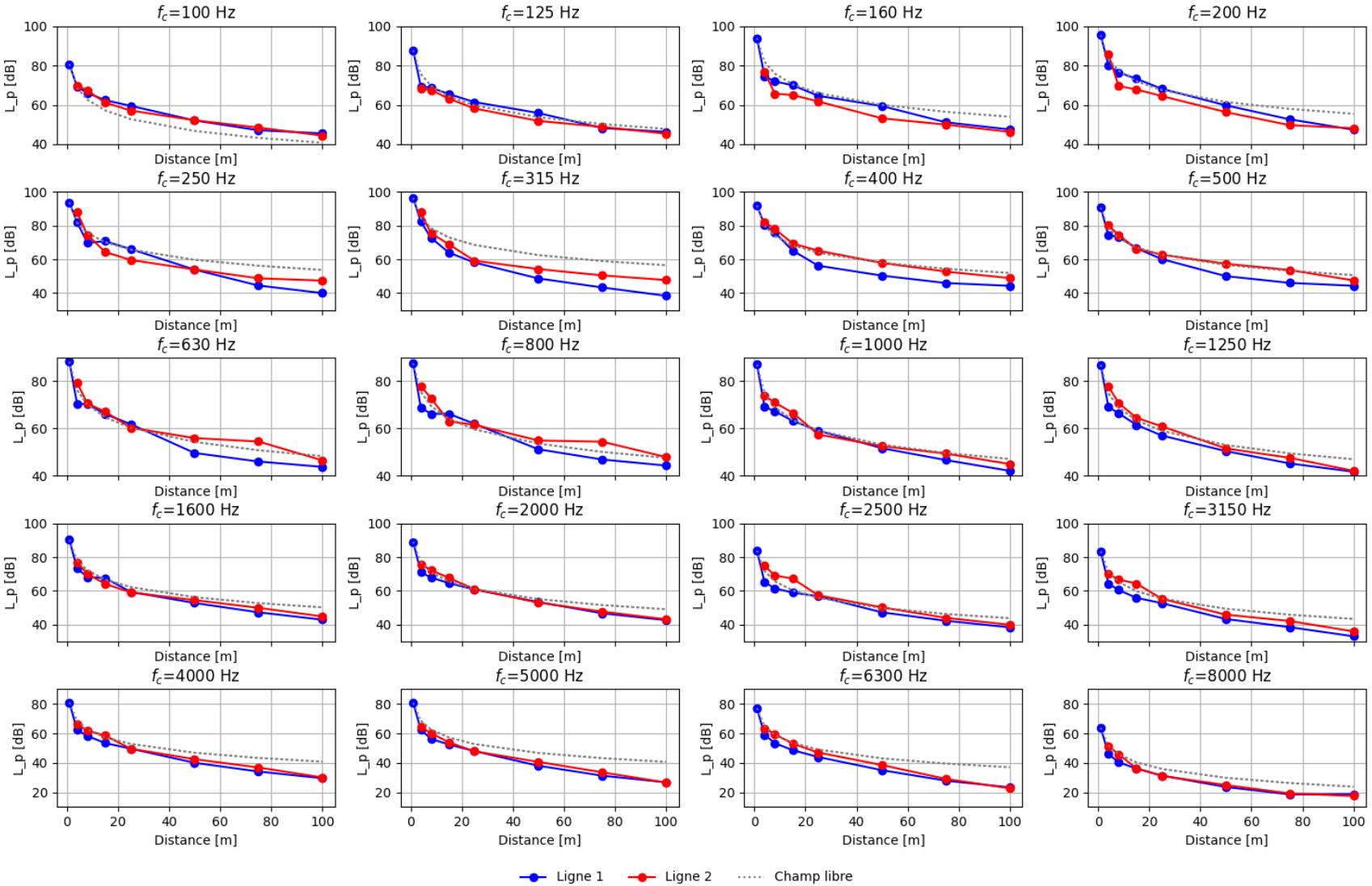
Ligne 2



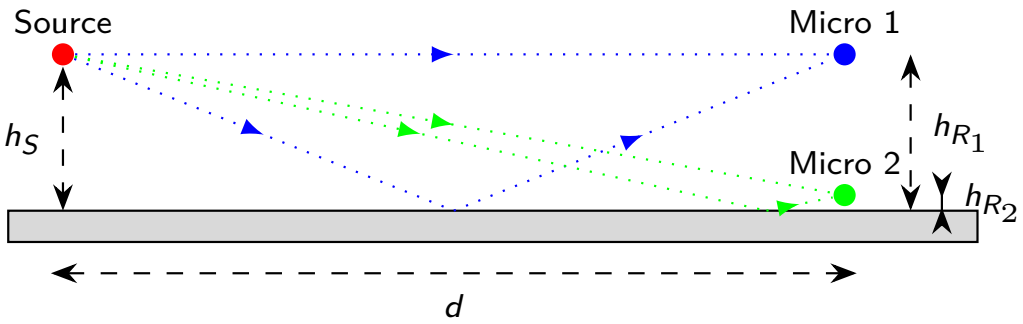
Rapport Signal sur Bruit par bande de $^1/_3$ d'octave

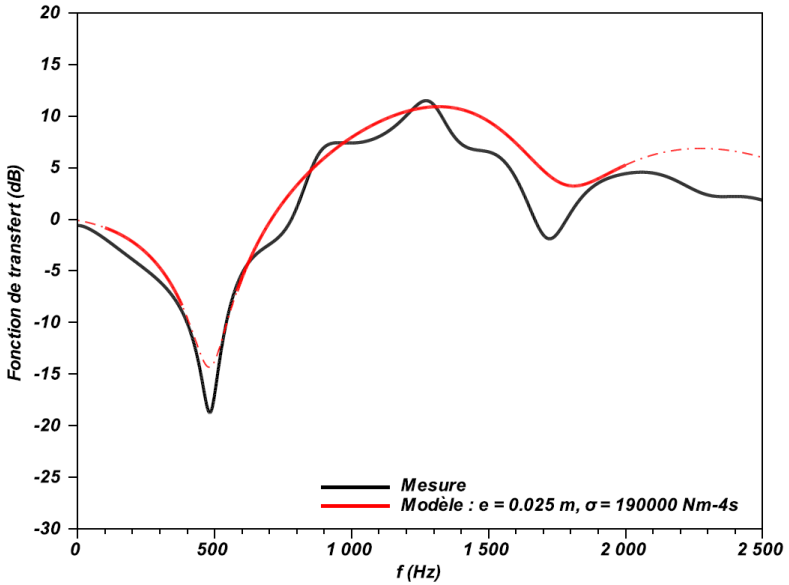


$L_{eq,1/3\ oct.}$ en fonction de la distance



Impédance de sol



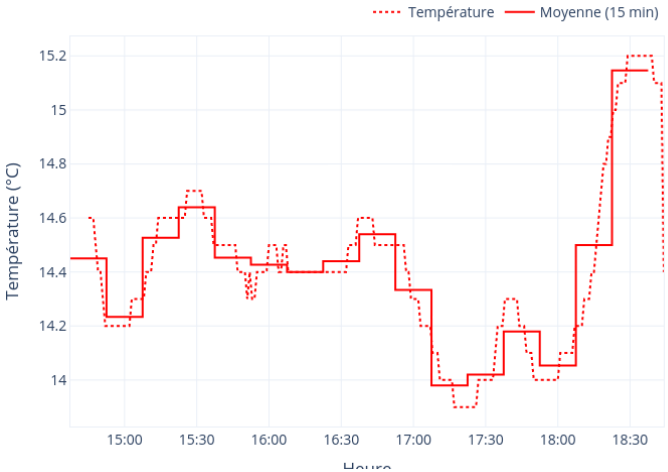


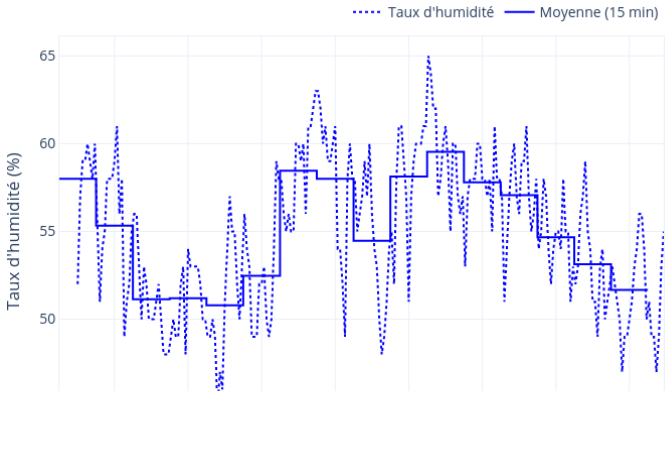
Zone	1	2	3	4	5
Résistivité moyenne σ (N.m^{-4}.s)	320000	382857	188000	154000	230000
Épaisseur moyenne e (m)	0,020	0,006	0,025	0,036	0,025

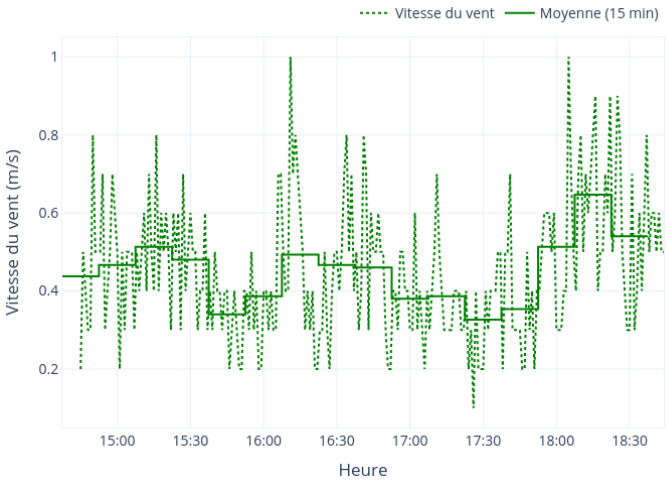
* Identification des paramètres d'impédance à l'aide du modèle de Miki Attenborough et coll., 2011 : $\sigma \in [50000; 370000]$ N.m^{-4}.s

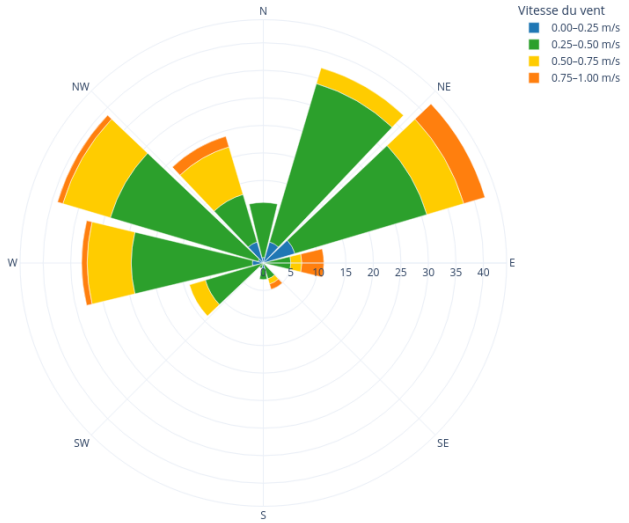
Attenborough, K. et coll. « Outdoor ground impedance models ». *The Journal of the Acoustical Society of America* **129**(5) (2011).

Mesures météorologiques









Conclusion et perspectives

- **Conclusion**
  - Mise en œuvre d'un protocole de mesure de la propagation acoustique en forêt
  - Développement des routines de traitement des mesures* et analyse des premiers résultats

* 50 fichiers .wav + 1600 fichiers .csv (∼6 Go)

Conclusion et perspectives

- **Conclusion**
  - Mise en œuvre d'un protocole de mesure de la propagation acoustique en forêt
  - Développement des routines de traitement des mesures* et analyse des premiers résultats

  * 50 fichiers .wav + 1600 fichiers .csv (∼6 Go)

- **Perspectives**
  - Traitement de l'ensemble des mesures
  - Analyse des temps de décroissance sonore (EDT, TR)
  - Confrontation à des prévisions numériques
  - Mise à disposition de la base de données auprès de la communauté scientifique

Merci pour votre attention !

gwenael.guillaume@cerema.fr
www.umrae.fr
noise-planet.org