

## RAPPORT PROJET

« Bruit et Ports »

CUP I51I17000500002

Produit T2.3.1

# Rapport d'analyse de nouveaux systèmes de propulsion

Composante T.2

Activité T2.3

Date de livraison prévue : 30 novembre 2019

Date de livraison effective : 29 février 2020

Organisme responsable : Université de Pise

Niveau de diffusion		
PU	Publique	✓

Numéro documentation à livrer :	Document de post- élaboration
Responsable documentation à livrer :	Prof. Romano Giglioli
Composante :	T2

Auteur(s) (dans l'ordre alphabétique)		
<b>Giglioli Romano</b>	UNIFI (Professeur Titulaire)	romano.giglioli@unifi.it
<b>Leccese Francesco</b>	UNIFI (Professeur Associé)	f.leccese@ing.unifi.it
<b>Salvadori Giacomo</b>	UNIFI (Chercheur Univ. Rtd-B)	giacomo.salvadori@unifi.it
<b>Tambellini Giuseppe</b>	UNIFI (allocataire de recherche)	giuseppetambellini92@gmail.com

Révision du Document			
Version	Date	Modifications	
		Type de modifications	Modifié par
R1	10-09-2020	Schématisation des sources sonores	Leccese F., Salvadori G.
R2	24-09-2020	Modélisation des sources sonores à partir de mesures d'événements sonores sur site	Tambellini G., Salvadori G.
R3	15-10-2020	Révision de la schématisation et de la modélisation des sources sonores	Leccese F, Salvadori G.
R4	16-10-2020	Insertion des graphiques et répertoire photographique	Tambellini G., Leccese F.
R5	22-10-2020	Révision du document	Leccese F., Salvadori G.
R6	27-10-2020	Mise en page et corrections du texte	Giglioli R., Leccese F.

Synthèse
<p>Le Produit « <i>Rapport d'analyse de nouveaux systèmes de propulsion</i> » (Produit T2.3.1) s'inscrit dans l'Activité « <i>Analyse des émissions sonores des activités portuaires de mouvement des marchandises et des personnes dans le cas de l'utilisation de nouveaux vecteurs énergétiques de propulsion</i> » (Activité T2.3), faisant partie intégrante de la Composante « <i>Création de modèles de simulation et scénarios prévisionnels pour l'évaluation du bruit portuaire</i> » (Composante T2), du Projet Interreg Maritime IT-FR « <i>Bruit et Ports</i> » (Acronyme : RAPPORT, Chef de file : Université de Gênes, Durée : 2018-2021).</p> <p>Le présent document illustre en particulier la schématisation des événements sonores mesurés sur site et la modélisation des sources sonores observées, comme décrit de façon détaillée dans le « Document de synthèse » (élément du Produit T2.3.1) relatif aux « <i>Activités de mesures acoustiques menées dans le but de caractériser l'émission sonore de certaines sources de bruit en action dans le Port de Livourne liées à la manutention de conteneurs</i> » et dans les « <i>Fiches des activités de mesure</i> » (élément du Produit T2.3.1) qui en complètent le contenu et en font partie intégrante.</p>

Les **activités de mesure**, auxquelles se réfèrent les différents documents décrivant le Produit T2.3.1, ont été menées au sein de la Zone « Terminal Darsena Toscana » (Zone TDT) du Port de Livourne et d'un commun accord avec l'Autorité Portuaire de Livourne (Direction Développement et Innovation, Ing. Ivano Toni) et avec la société TDT (HSQE Manager, Ing. Vittorio Marzuoli). En particulier, les jours et heures suivants ont été convenus avec l'HQSE Manager TDT pour effectuer les mesures sur site : jeudi 3 octobre 2019, vendredi 4 octobre 2019, mercredi 9 octobre 2019 et vendredi 11 octobre 2019, toujours pendant la journée, le matin, dans la plage horaire 7h30 - 13h30, pour un total de 24 heures.

Les mesures ont été effectuées par les opérateurs de l'Université de Pise : Ing. Francesco Leccese, Ing. Giacomo Salvadori et Ing. Sebastiano Andrea Boemi. Les opérateurs de l'Université ont toujours été accompagnés d'un ou plusieurs agents de sécurité TDT qui indiquaient les positions à adopter pendant les mesures. De plus, à la demande du HQSE Manager TDT, les opérateurs de l'Université ont porté, tout au long des activités, les EPI suivants : casque de protection, gilet haute visibilité et chaussures de sécurité.

Les activités de mesure ont été réalisées avec des instruments du Laboratoire Systèmes d'éclairage et Acoustique (Resp. Ing. F. Leccese) du Département DESTeC de l'École d'Ingénieurs, dont notamment un sonomètre portatif Brüel et Kjaer de type 2270 (avec étalonnage en cours de validité), équipé d'un écran pare-vent pour des mesures en extérieur, monté sur trépied ou tenu par l'opérateur. Ont également été utilisés : un distancemètre laser pour mesurer les distances par rapport aux sources de bruit et une caméra GoPro HERO7 Silver pour l'enregistrement audio/vidéo des événements sonores mesurés en vue de faciliter la post-élaboration.

Les mesures sonométriques ont concerné des événements sonores produits par des engins en mouvement dans la Zone TDT, notamment : reach stacker, portique à conteneurs, grue de quai. Les relevés acoustiques ont été répétés pour caractériser les différentes conditions de travail (par exemple : manutention de conteneurs en chargement et déchargement, manœuvre des engins sur pneus, attente au point mort) et les différentes conditions contextuelles (par exemple : présence simultanée de plusieurs sources sonores, opérations simultanées, passage de véhicules à proximité), par rapport à la position au sein de la Zone TDT (voie ferrée, esplanade principale, quai). À titre complémentaire, des relevés acoustiques du bruit ambiant ont également été effectués : dans le parking situé sous les bureaux TDT, à proximité de la Porte de douane et dans la zone de Pré-accès à la Porte de douane (à proximité de la barrière automatique pour l'entrée des véhicules arrivant à la Porte).

Les variations temporelles et fréquentielles des niveaux de pression acoustique des événements mesurés ont pu être obtenues à partir des mesures sonométriques et ont permis de procéder à une post-élaboration et à une interprétation des données dans le cadre des objectifs du Projet REPORT. Dans l'ensemble, 42 mesures sonométriques ont été effectuées, d'une durée variant entre 3 et 30 minutes, pour un total d'environ 600 minutes de mesure incluant plusieurs événements sonores clés (parfois isolés pour les distinguer les uns des autres, d'autre fois superposés pour les évaluer en simultané).

Ce document final illustre la post-élaboration des mesures sous forme de synthèse afin de schématiser les différents événements sonores observés sur site et de modéliser les sources sonores actives auprès du Port de Livourne en vue d'une utilisation future des résultats obtenus dans les logiciels de modélisation acoustique environnementale. Le document se compose de 134 pages au total (pages de couverture non numérotées et annexes incluses). Tous les fichiers de calcul, les tableaux des résultats des mesures et le répertoire audio et vidéo issu des activités de

mesure et des activités de post-élaboration sont conservés dans un Répertoire spécialement créé pour les besoins du projet et en cours de réalisation.

## Document de post-élaboration

(Titre) Document de post-élaboration

(Document de synthèse) Activités de mesures acoustiques menées dans le but de caractériser l'émission sonore de certaines sources de bruit en action dans le Port de Livourne liées à la manutention de conteneurs

(Produit) Rapport d'analyse de nouveaux systèmes de propulsion - Troisième Partie

(Activité) Analyse des émissions sonores des activités portuaires de mouvement des marchandises et des personnes dans le cas de l'utilisation de nouveaux vecteurs énergétiques de propulsion

(Composante) Création de modèles de simulation et scénarios prévisionnels pour l'évaluation du bruit portuaire

### Composante T2 - Activités T2.3 - Produit T2.3.1

Université de Pise (UNIFI)

Département de Génie de l'Énergie, des Systèmes, du Territoire, des Constructions (DESTeC)

Responsable Scientifique : Prof. R. Giglioli

Groupe de Recherche : R. Giglioli, F. Leccese, G. Salvadori, S.A. Boemi, G. Tambellini

[Mise à jour du document au 28 octobre 2020]

## I. Introduction

Le présent document résume les phases de post-élaboration des activités d'observation et de mesures sur site menées dans le but de caractériser l'émission sonore de certaines sources de bruit en action dans le Port de Livourne liées à la manutention de conteneurs. Les documents précédents, qui détaillent les activités menées et déjà chargées sur la plateforme en ligne consacrée au projet, qui font partie intégrante du présent document, sont les suivants :

- Document de synthèse (première partie du produit T2.3.1), version du 15 mai 2020 ;
- Fiches des activités de mesure (deuxième partie du produit T.2.3.1), version du 30 mai 2020, qui s'articulent autour de quatre parties correspondant aux différentes sources.

Le Tableau 1 indique la liste des Fiches figurant dans les documents précédents. Le Tableau 2 indique les codes alphanumériques utilisés pour identifier rapidement les différentes Fiches, le nombre de mesures effectuées et le nombre de fiches réalisées pour chaque source, tels qu'ils figurent dans les documents précédents. Les Figures 1 et 2 montrent les vues aériennes de la Zone TDT du Port de Livourne avec l'indication des lieux concernés par les activités de mesure acoustique. La Figure 3 illustre, en quelques clichés, les sources de bruit au sein de la zone TDT concernée par les activités de mesure (p. ex. : Grue de quai,

Reach Stacker, Portique à conteneurs, Conteneur frigorifique, zone parking Bureaux TDT, Porte de douane, zone de Pré-accès à la Porte de douane).

Les paragraphes suivants synthétisent les résultats de la post-élaboration des mesures sur site et la modélisation des sources ponctuelles, linéaires et surfaciques, puis comparent, commentaires à l'appui, les émissions sonores d'un véhicule équipé d'un moteur diesel et celles d'un véhicule équipé d'un moteur électrique.

**Tableau 1 - Liste des fiches figurant dans le présent Document.**

ID Fiche	Date Mesure	Date Fiche	Révision	Notes
<b>Source : Grue de quai</b>				
GB-01	2019-10-09	2020-04-15	2020-05-04	
GB-02	2019-10-09	2020-02-26	2020-05-04	
<b>Source : Reach Stacker</b>				
RS-01	2019-10-03	2020-02-28	2020-05-04	
RS-02	2019-10-03	2020-02-26	2020-05-04	
RS-03	2019-10-03	-	-	Mesure d'essai ; sans fiche de post-élaboration
RS-04	2019-10-04	2020-02-28	2020-05-04	
RS-05	2019-10-04	2020-02-28	2020-05-04	
RS-06	2019-10-09	2020-03-03	2020-05-04	
RS-07	2019-10-09	2020-03-05	2020-05-04	
<b>Source : Portique à conteneurs (côté voie ferrée)</b>				
TSf-01	2019-10-03	2020-03-26	2020-05-04	
TSf-02	2019-10-03	-	-	Mesure d'essai ; sans fiche de post-élaboration
TSf-03	2019-10-04	2020-03-09	2020-05-04	
TSf-04	2019-10-09	2020-03-09	2020-05-04	
TSf-05	2019-10-09	2020-03-10	2020-05-04	
TSf-06	2019-10-11	2020-03-10	2020-05-04	
TSf-07	2019-10-11	2020-03-12	2020-05-04	
TSf-08	2019-10-11	2020-03-16	2020-05-04	
<b>Source : Portique à conteneurs (côté Esplanade principale)</b>				
TSp-01	2019-10-03	2020-03-19	2020-05-04	
TSp-02	2019-10-03	2020-03-26	2020-05-04	
TSp-03	2019-10-03	2020-03-26	2020-05-04	
TSp-04	2019-10-03	-	-	Mesure d'essai ; sans fiche de post-élaboration
TSp-05	2019-10-04	2020-03-26	2020-05-04	
TSp-06	2019-10-04	2020-03-23	2020-05-04	
TSp-07	2019-10-04	2020-03-25	2020-05-04	
TSp-08	2019-10-04	2020-03-25	2020-05-04	
TSp-09	2019-10-04	-	-	Mesure d'essai ; sans fiche de post-élaboration
TSp-10	2019-10-04	2020-03-26	2020-05-04	
TSp-11	2019-10-09	2020-03-25	2020-05-04	
TSp-12	2019-10-11	2020-03-26	2020-05-04	
TSp-13	2019-10-11	2020-03-26	2020-05-04	
TSp-14	2019-10-11	2020-03-27	2020-05-04	
<b>Source : Conteneur frigorifique</b>				
CF-01	2019-10-03	2020-03-27	2020-05-20	
CF-02	2019-10-03	2020-03-27	2020-05-20	
<b>Source : Porte de douane</b>				
G-01	2019-10-11	2020-03-27	2020-05-20	

Source :	<b>Zone de Pré-access à la Porte de douane</b>		
<b>PG-01</b>	2019-10-03	2020-03-27	2020-05-20
<b>PG-02</b>	2019-10-04	2020-03-27	2020-05-20
<b>PG-03</b>	2019-10-09	2020-03-27	2020-05-20
<b>PG-04</b>	2019-10-11	2020-03-30	2020-05-20
Source :	<b>Bruit ambiant</b>		
<b>RA-01</b>	2019-10-03	2020-03-30	2020-05-20
<b>RA-02</b>	2019-10-04	2020-03-30	2020-05-20
<b>RA-03</b>	2019-10-09	2020-03-30	2020-05-20
<b>RA-04</b>	2019-10-11	2020-03-30	2020-05-20

**Tableau 2** – Codes alphanumériques utilisés, nombre de mesures effectuées et nombre de fiches par source.

ID	Sources de bruit		
	Source	Nbre mesures	Nbre fiches
<b>GB</b>	Grue de quai	2	2
<b>RS</b>	Reach Stacker	7	6
<b>TSf</b>	Portique à conteneurs (côté voie ferrée)	8	7
<b>TSp</b>	Portique à conteneurs (côté esplanade principale)	14	12
<b>CF</b>	Conteneur frigorifique	2	2

ID	Bruit ambiant		
	Source	Nbre mesures	Nbre fiches
<b>RA</b>	Bruit ambiant	4	4
<b>G</b>	Porte de douane	1	1
<b>PG</b>	Zone de Pré-access à la Porte de douane	4	4

<b>Total mesures effectuées</b>	<b>42</b>
<b>Total fiches de mesure</b>	<b>38</b>

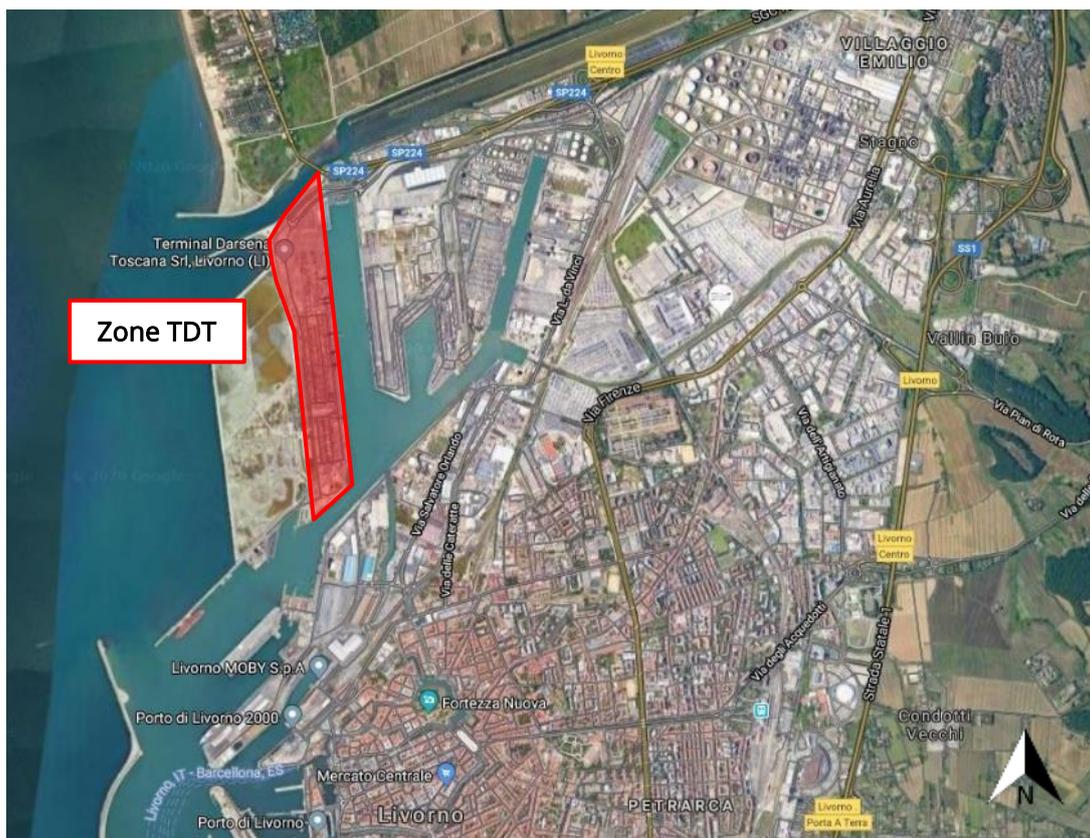


Fig. 1 – Vue aérienne de la zone TDT, Port de Livourne (source : Google Maps).



Fig. 2 – Vue aérienne de la zone TDT, Port de Livourne (source : Google Maps). Légende : esplanade (ligne de couleur rouge, continue), quai (ligne de couleur jaune, discontinue) ; voie ferrée (ligne de couleur verte, tiret-point) ; bureaux TDT (ligne de couleur orange, pointillée) ; Porte de douane (ligne de couleur bleue, tiret-double point).



(A)



(B)



(C)



(D)

.../...

*(suite)*



(E)



(F)



(G)



(H)

**Fig. 3** – Port de Livourne, sources de bruit dans la zone TDT : (A) Grue de quai, (B) Reach Stacker, (C) Portique à conteneurs, côté voie ferrée, (D) Portique à conteneurs, côté esplanade principale, (E) Conteneur frigorifique. Bruit ambiant : (F) parking Bureaux TDT, (G) Porte de douane, (H) zone de Pré-accès à la Porte de douane.

## II. Résultats de la post-élaboration des mesures sur site

### 2.1 Préambule

Ce document final illustre la post-élaboration des mesures sous forme de synthèse afin de schématiser les différents événements sonores observés sur site et de modéliser les sources sonores actives auprès du Port de Livourne en vue d'une utilisation future des résultats obtenus dans les logiciels de modélisation acoustique environnementale.

L'évaluation des niveaux de puissance acoustique des sources sonores étudiées a d'abord été effectuée en utilisant une version simplifiée de la formule de propagation acoustique en milieu extérieur sans tenir compte des différents effets d'atténuation sonore due aux facteurs environnementaux, certains d'entre eux étant effectivement négligeables. Les niveaux de puissance acoustique sont évidemment calculés à partir des niveaux de pression acoustique mesurés à l'aide des instruments sonométriques utilisés.

**Ci-dessous est présentée une synthèse des résultats des activités de post-élaboration relatives à certaines des sources observées, à savoir : Reach stacker, Portique à conteneurs, Grue de quai, Groupe frigorifique, en indiquant le type de source (ponctuelle, linéaire ou surfacique) que l'on souhaite schématiser.**

Les activités de post-élaboration se rapportent à des activités de mesure sur site spécifiques dont les fiches de mesure, déjà présentes dans des documents précédents, sont annexées au présent document dans un souci de commodité.

### 2.2 Modélisation des sources ponctuelles

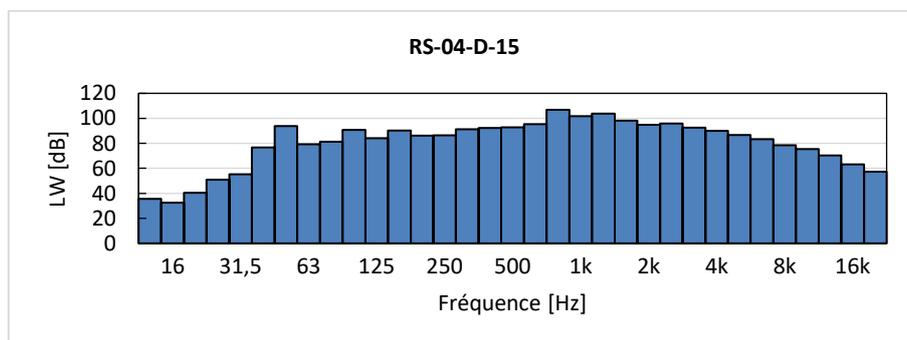
#### 2.2A : Cas de Reach stacker, Engin au point mort

**Tableau 2.2A.1** – Récapitulatif fiche de mesure.

RS-04-D-15				Reach stacker
Attente, RS au point mort				
Lieu :				Voie ferrée
Hauteur microphone par rapport au sol (m) :				1,5
Distance source-microphone (m) :				5
Hauteur source (m) :				0,8
Date	Début	Fin	Durée *	LW (Q=1)
04/10/2019	08:35:13	08:44:43	00:08:51	<b>101,8</b>
LAeq	LCcrête	LAF	LAFmax	LAFmin
75,2	96,7	75,6	76,7	74,6

Tableau 2.2A.2 – Spectre de puissance

Hz	dB	Hz	dB	Hz	dB
12,5	42,5	160	87,4	2k	92,9
16	45,6	200	87,9	2,5k	90,4
20	56,2	250	92,3	3,15k	85,0
25	59,7	315	89,2	4k	83,5
31,5	64,2	400	88,1	5k	76,9
40	67,1	500	89,8	6,3k	75,5
50	71,9	630	89,7	8k	71,4
63	71,7	800	89,9	10k	66,1
80	77,2	1k	91,8	12,5k	59,6
100	81,8	1,25k	95,0	16k	52,3
125	79,4	1,6k	92,9	20k	46,0



## 2.2B : Cas de Portique à conteneurs, Engin au point mort

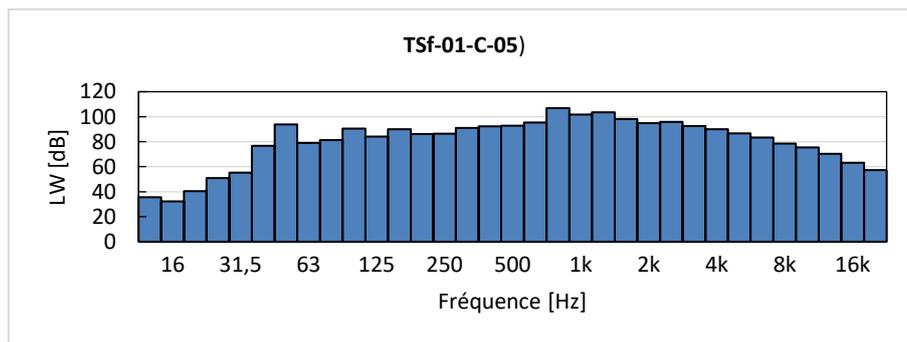
Tableau 2.2B.1 – Récapitulatif fiche de mesure.

TSf-01-C-05				Portique à conteneurs (côté moteur)	
Attente, TSf au point mort					
Lieu :					Voie ferrée
Hauteur microphone par rapport au sol (m) :					1,5
Distance source-microphone (m) :					5
Hauteur source (m) :					1,5
Date	Début	Fin	Durée *	LW (Q=1)	
03/10/2019	08:45:38	08:50:36	00:04:55	<b>109,6</b>	
LAeq	LCcrête	LAF	LAFmax	LAFmin	
82,7	103,0	83,2	84,3	82,5	

Tableau 2.2B.2 – Spectre de puissance.

Hz	dB	Hz	dB	Hz	dB
----	----	----	----	----	----

12,5	38,7	160	88,4	2k	101,0
16	38,8	200	87,9	2,5k	111,9
20	42,2	250	89,6	3,15k	103,9
25	52,2	315	88,3	4k	106,5
31,5	47,6	400	90,9	5k	101,7
40	60,2	500	92,6	6,3k	98,2
50	64,8	630	96,2	8k	96,2
63	71,4	800	96,1	10k	91,0
80	81,1	1k	99,3	12,5k	83,0
100	81,8	1,25k	111,9	16k	72,9
125	82,2	1,6k	102,2	20k	66,0



## 2.2C: Cas de Groupe frigorifique

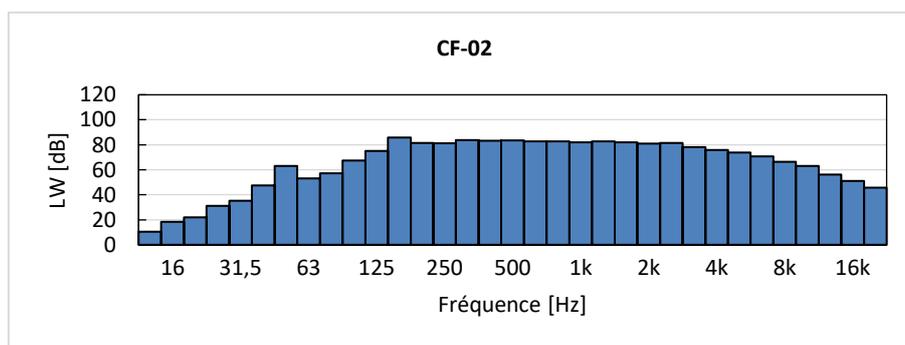
Tableau 2.2B.1 – Récapitulatif fiche de mesure.

CF-02				Groupe frigorifique
Cycle de fonctionnement				
Lieu :				Esplanade
Hauteur microphone par rapport au sol (m) :				1,5
Distance source-microphone (m) :				1
Hauteur source (m) :				1,6
Date	Début	Fin	Durée	LW (Q=1)
03/10/2019	09:31:08	09:31:53	00:00:45	<b>99,4</b>
LAeq	LCcrête	LAF	LAFmax	LAFmin
81,1	102,1	80,9	82,9	75,1

Tableau 2.2C.2 – Spectre de puissance.

Hz	dB	Hz	dB	Hz	dB
12,5	18,4	160	81,5	2k	81,6
16	22,0	200	81,1	2,5k	78,2

20	31,2	250	83,7	3,15k	75,8
25	35,3	315	83,2	4k	73,7
31,5	47,5	400	83,6	5k	70,9
40	63,0	500	82,8	6,3k	66,4
50	53,0	630	82,7	8k	63,1
63	57,3	800	82,0	10k	56,1
80	67,3	1k	82,8	12,5k	51,1
100	75,0	1,25k	82,0	16k	45,7
125	85,8	1,6k	81,1	20k	0,0



## 2.3 Modélisation des sources linéaires

### 2.3A : Cas de Portique à conteneurs (côté voie ferrée), Signal d'avertissement (en mouvement)

Tableau 2.3A.1 – Récapitulatif fiche de mesure.

<b>TSf-05-C-09</b>		<b>Portique à conteneurs (côté moteur)</b>		
TS signal d'avertissement (déplacement engin)				
Lieu :				Voie ferrée
Hauteur microphone par rapport au sol (m) :				1,5
Distance source-microphone (m) :				5
Hauteur source (m) :				1,5
Date	Début	Fin	Durée	<b>LW (Q=1)</b>
09/10/2019	10:16:15	10:16:26	00:00:11	<b>112,0</b>
LAeq	LCcrête	LAF	LAFmax	LAFmin
84,1	101,3	85,0	86,6	81,6

Longueur totale parcours Portique à conteneurs (côté voie ferrée) : 560 m.

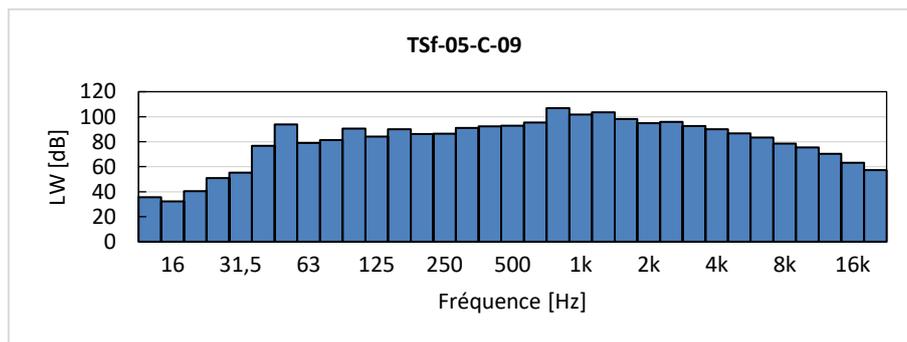
Longueur effectivement parcourue : 10 m.

Vitesse estimée : 0,90 m/s.

Tableau 2.3A.2 – Spectre de puissance.

Hz	dB	Hz	dB	Hz	dB
----	----	----	----	----	----

12,5	25,0	160	90,7	2k	106,1
16	31,1	200	94,0	2,5k	101,2
20	40,5	250	94,3	3,15k	96,2
25	55,4	315	94,9	4k	93,4
31,5	54,1	400	99,1	5k	90,7
40	64,9	500	100,5	6,3k	88,1
50	69,3	630	96,8	8k	85,0
63	73,3	800	98,0	10k	81,5
80	80,9	1k	98,4	12,5k	76,4
100	82,7	1,25k	102,1	16k	71,0
125	83,0	1,6k	105,4	20k	68,0



### 2.3B : Cas de Portique à conteneurs (côté esplanade), Signal d'avertissement (en mouvement)

Tableau 2.3B.1 – Récapitulatif fiche de mesure.

TSp-06-C-14				Portique à conteneurs (côté sans moteur)	
TS signal d'avertissement (déplacement engin)					
Lieu :					Esplanade
Hauteur microphone par rapport au sol (m) :					1,5
Distance source-microphone (m) :					5
Hauteur source (m) :					1,5
Date	Début	Fin	Durée	LW (Q=1)	
04/10/2019	10:36:46	10:37:00	00:00:14	<b>107,6</b>	
LAeq	LCcrête	LAF	LAFmax	LAFmin	
79,5	94,3	80,6	82,2	70,0	

Longueur totale parcours Portique à conteneurs (côté esplanade) : 910 m.

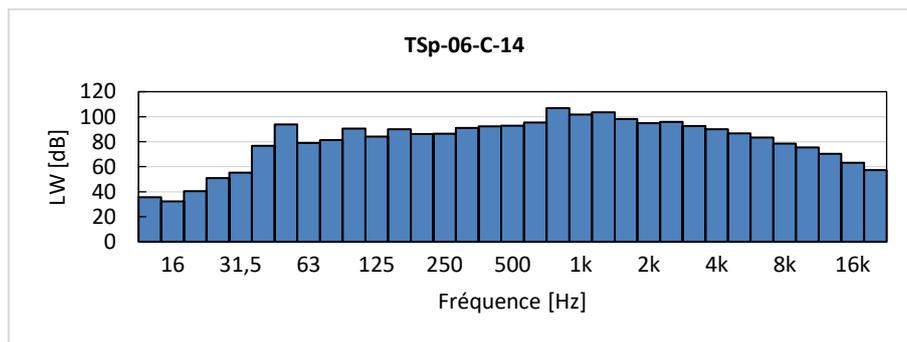
Longueur effectivement parcourue : 13 m.

Vitesse estimée : 0.93 m/s.

Tableau 2.3B.2 – Spectre de puissance.

Hz	dB	Hz	dB	Hz	dB
----	----	----	----	----	----

12,5	18,9	160	81,3	2k	88,6
16	24,9	200	79,5	2,5k	106,5
20	32,9	250	81,5	3,15k	97,3
25	38,5	315	82,5	4k	85,2
31,5	46,7	400	87,7	5k	94,7
40	51,0	500	85,7	6,3k	79,1
50	62,0	630	83,7	8k	77,3
63	69,6	800	85,6	10k	76,2
80	69,3	1k	86,1	12,5k	61,6
100	72,5	1,25k	85,2	16k	54,2
125	76,9	1,6k	84,6	20k	49,7



## 2.4 Modélisation des sources surfaciques

### 2.4A : Cas de Reach stacker (côté voie ferrée), Manutention conteneur

Le macro-événement est constitué des événements individuels suivants : tentative de levage conteneur (RS-06-A-01 ; RS-06-A-02) ; levage du conteneur (RS-06-A-03) ; engin en mouvement (RS-06-A-04) ; levage et positionnement conteneur (RS-06-A-05 et RS-06-A-06 et RS-06-A-07) et, enfin, levage du bras télescopique (RS-06-A-08).

Tableau 2.4A.1 – Récapitulatif fiche de mesure.

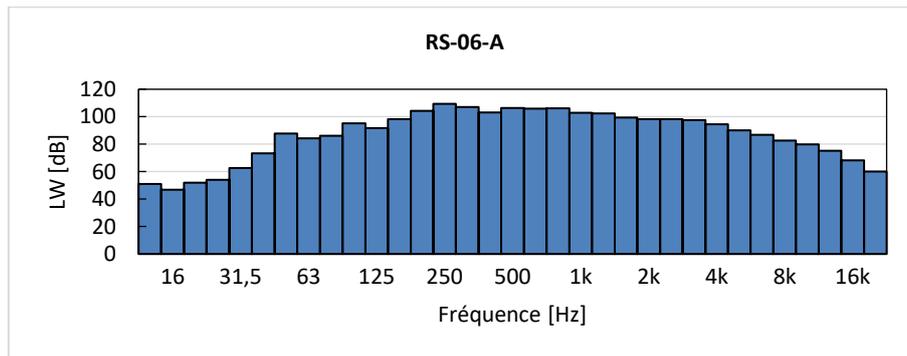
RS-06-A					Reach stacker
Manutention conteneur (1) du véhicule à la pile de conteneurs					
Lieu :					Voie ferrée
Date	Début	Fin	Durée	LW (Q=1)	
09/10/2019	08:52:33	08:53:59	00:01:26	119,3	
LAeq	Lccrête	LAF	LAFmax	LAFmin	
90,0	114,4	91,4	98,1	73,7	

Zone concernée par le macro-événement : 10m x 2,5m= 25m<sup>2</sup>.

Tableau 2.4A.2 – Spectre de puissance.

Hz	dB	Hz	dB	Hz	dB
12,5	46,9	160	104,3	2k	98,2

16	52,0	200	109,4	2,5k	97,4
20	54,1	250	107,1	3,15k	94,6
25	62,5	315	103,1	4k	90,0
31,5	73,4	400	106,4	5k	86,8
40	87,9	500	106,0	6,3k	82,6
50	84,2	630	106,0	8k	79,8
63	86,1	800	103,0	10k	75,1
80	95,3	1k	102,5	12,5k	68,2
100	91,8	1,25k	99,4	16k	60,1
125	98,2	1,6k	98,2	20k	0,0



## 2.4B : Cas de Reach stacker (côté esplanade), Manutention conteneur

Le macro-événement est constitué des événements individuels suivants : levage bras télescopique (RS-02-B-07) ; levage du conteneur (RS-06-B-08) ; signal d'avertissement pendant le mouvement de l'engin (RS-06-A-04) ; klaxon (RS-02-B-11) et, enfin, positionnement du conteneur (RS-02-B-12).

Tableau 2.4B.1 – Récapitulatif fiche de mesure.

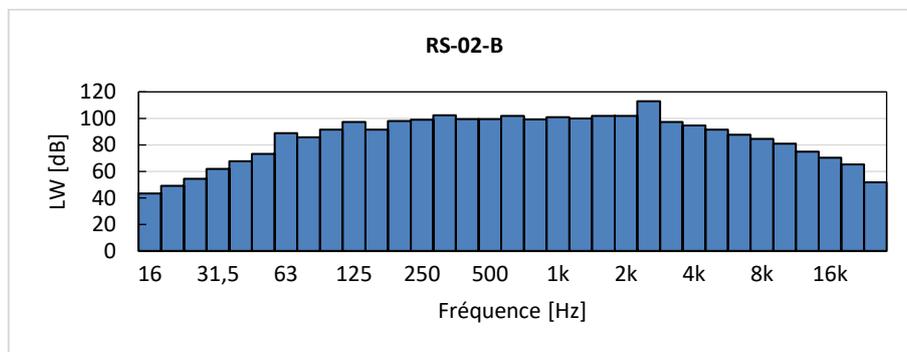
<b>RS-02-A</b>				<b>Reach stacker</b>
Manutention conteneur (1) de la pile de conteneurs au véhicule.				
Lieu :				Esplanade
Date	Début	Fin	Durée	<b>LW (Q=1)</b>
03/10/2019	09:07:14	09:08:28	00:01:14	<b>114,4</b>
LAeq	Lccrête	LAF	LAFmax	LAFmin
74,8	108,9	78,6	89,3	70,9

Zone concernée par le macro-événement : 10m x 2,5m= 25m<sup>2</sup>.

Tableau 2.4B.2 – Spectre de puissance.

Hz	dB	Hz	dB	Hz	dB
12,5	49,3	160	99,0	2k	97,3
16	54,3	200	102,3	2,5k	94,6
20	61,9	250	99,5	3,15k	91,5
25	67,7	315	99,4	4k	87,8

31,5	73,3	400	101,9	5k	84,7
40	88,8	500	99,2	6,3k	80,9
50	85,8	630	100,9	8k	75,0
63	91,4	800	99,9	10k	70,3
80	97,3	1k	101,9	12,5k	65,3
100	91,5	1,25k	102,0	16k	51,8
125	98,0	1,6k	113,0	20k	0,0



## 2.4C: Cas de Portique à conteneurs (côté voie ferrée), Manutention conteneur

Le macro-événement est constitué des événements individuels suivants : signal d'avertissement quand l'engin est en mouvement (Tsf-06-C-6 ; Tsf-06-C-07) ; accrochage du conteneur (Tsf-06-C-08 ; Tsf-06-C-09) ; signal d'avertissement quand l'engin est en mouvement (Tsf-06-C-10 ; Tsf-06-C-11) et, enfin, le positionnement du conteneur dans le train (Tsf-06-C-12).

Tableau 2.4C.1 – Récapitulatif fiche de mesure.

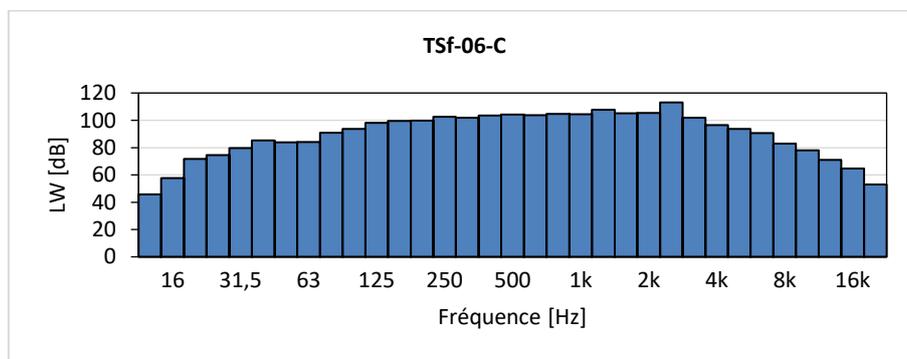
Tsf-06-C				Portique à conteneurs (côté sans moteur)	
Manutention conteneur (2) du véhicule au train					Voie ferrée
Lieu :					
Date	Début	Fin	Durée	LW (Q=1)	
11/10/2019	11:04:56	11:06:24	00:01:28	117,6	
LAeq	Lcrrête	LAF	LAFmax	LAFmin	
82,9	102,3	84,8	90,4	66,1	

Zone concernée par le macro-événement : 200m x 10m= 2000m<sup>2</sup>.

Tableau 2.4C.2 – Spectre de puissance.

Hz	dB	Hz	dB	Hz	dB
12,5	45,9	160	99,6	2k	105,4
16	57,6	200	99,8	2,5k	113,1
20	71,7	250	102,6	3,15k	101,9
25	74,6	315	101,8	4k	96,6
31,5	79,8	400	103,4	5k	93,7
40	85,2	500	104,1	6,3k	90,5

50	83,9	630	103,7	8k	82,9
63	84,1	800	104,7	10k	77,9
80	90,8	1k	104,4	12,5k	71,0
100	93,7	1,25k	107,7	16k	64,6
125	98,1	1,6k	105,3	20k	53,0



## 2.4D : Cas de Portique à conteneurs (côté esplanade), Manutention conteneur

Le macro-événement est constitué des événements individuels suivants : accrochage conteneur sur la pile (Tsp-07-A-01) ; positionnement sur l'esplanade (Tsp-07-A-02) et enfin décrochage du conteneur (Tsp-07-A-03).

Tableau 2.4D.1 – Récapitulatif fiche de mesure.

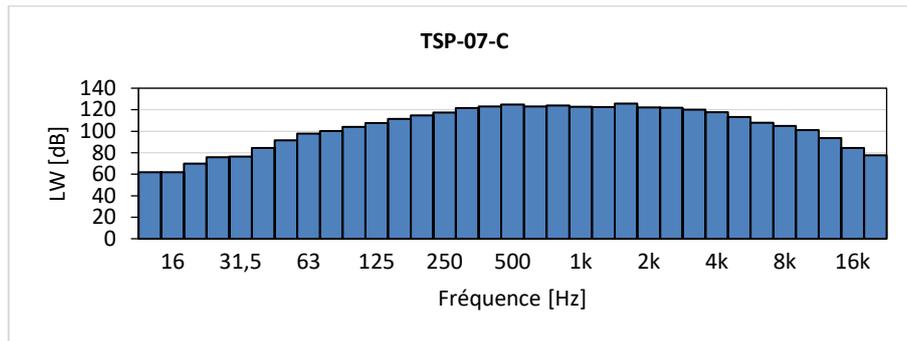
TSp-07-A					Portique à conteneurs (côté sans moteur)
Manutention conteneur (1) de la pile de conteneurs à l'esplanade.					
Lieu :				Esplanade	
Date	Début	Fin	Durée	LW (Q=1)	
04/10/2019	10:38:59	10:41:05	00:02:06	129,9	
LAeq	Lcrrête	LAF	LAFmax	LAFmin	
78,5	119,0	83,0	102,6	73,1	

Zone concernée par le macro-événement : 12m x 10m= 120m<sup>2</sup>.

Tableau 2.4D.2 – Spectre de puissance.

Hz	dB	Hz	dB	Hz	dB
12,5	61,9	160	114,8	2k	121,8
16	70,0	200	117,4	2,5k	120,0
20	75,7	250	121,5	3,15k	117,7
25	76,5	315	123,0	4k	113,3
31,5	84,3	400	124,9	5k	107,9
40	91,7	500	123,2	6,3k	104,9
50	97,8	630	123,9	8k	101,2
63	100,2	800	122,6	10k	93,6
80	104,1	1k	122,5	12,5k	84,5
100	107,6	1,25k	125,8	16k	77,6

125	111,4	1,6k	122,1	20k	0,0
-----	-------	------	-------	-----	-----



## 2.4E : Cas de Grue de quai, Positionnement conteneur sur véhicule

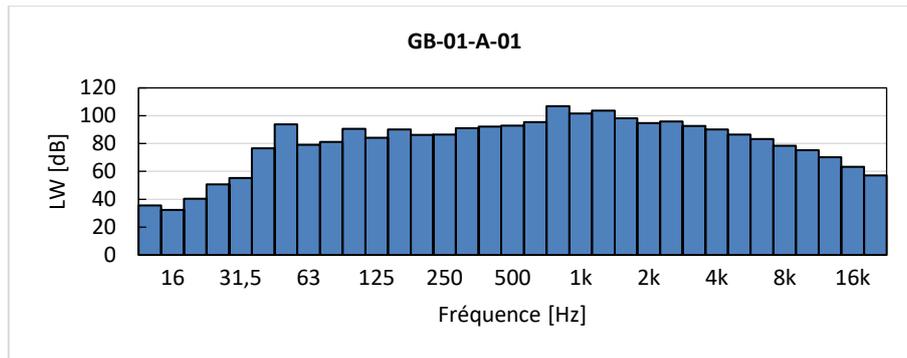
Tableau 2.4E.1 – Récapitulatif fiche de mesure.

GB-01-A-01				Grue de quai
Positionnement conteneur (1) sur véhicule				
Lieu :				Quai
Hauteur microphone par rapport au sol (m) :				1,5
Distance source-microphone (m) :				20
Hauteur source (m) :				15,0
Date	Début	Fin	Durée	LW (Q=1)
09/10/2019	08:09:14	08:09:19	00:00:05	117,3
LAeq	LCcrête	LAF	LAFmax	LAFmin
72,8	94,6	75,1	78,4	67,5

Zone couverte par la Grue : 26m x 27m=702m<sup>2</sup>.

Tableau 2.4E.2 – Spectre de puissance.

Hz	dB	Hz	dB	Hz	dB
12,5	37,4	160	93,5	2k	105,4
16	45,5	200	95,3	2,5k	109,8
20	57,0	250	95,1	3,15k	102,2
25	61,8	315	97,4	4k	97,3
31,5	66,0	400	97,8	5k	91,5
40	76,7	500	98,9	6,3k	88,3
50	84,9	630	100,3	8k	80,0
63	87,8	800	106,6	10k	74,0
80	83,9	1k	105,6	12,5k	67,5
100	90,3	1,25k	113,5	16k	60,2
125	92,3	1,6k	107,4	20k	51,2



### III. Comparaison entre les émissions sonores d'un véhicule équipé d'un moteur diesel et celles d'un véhicule équipé d'un moteur électrique

#### 3.1 Description de l'activité de mesure

Une campagne de mesures acoustiques a été menée dans le but de comparer les émissions sonores de véhicules équipés d'un moteur diesel et celles de véhicules équipés d'un moteur électrique, dont les caractéristiques et les résultats sont résumés dans les paragraphes suivants.

#### 3.2 Véhicules dont les émissions sonores ont été mesurées

Les véhicules dont les émissions sonores ont été mesurées sont : une Renault Zoe équipée d'un moteur électrique de 53 kW et une Renault Clio équipée d'un moteur diesel 1,5 dCi développant une puissance de 55 kW. Afin de rendre la comparaison pertinente, on a sélectionné deux automobiles du même constructeur, appartenant au même segment automobile (Segment B : véhicules utilitaires compacts avec carrosserie à deux volumes)

#### 3.3 Situation, date et heure de l'activité de mesure et conditions météorologiques

L'activité de mesure a été menée en extérieur, sur une esplanade goudronnée appartenant à l'Université de Pise, située dans le lieu-dit San Piero a Grado rattaché à la commune de Pise. L'activité de mesure a été effectuée dans une zone de l'esplanade suffisamment éloignée des bâtiments et autres surfaces réfléchissantes, de façon à éviter les réflexions sonores indésirables.

Le Tableau 3.1 indique la date, les heures indicatives de début et de fin et la durée de l'activité de mesure, ainsi que les conditions météorologiques dans lesquelles s'est déroulée l'activité (Remarque : les heures de mesure sont indiquées au format

hh:mm:ss). Avant et après l'activité de mesure des émissions sonores des véhicules, des mesures de bruit ambiant d'une durée de 5 minutes chacune ont été réalisées, donnant des niveaux sonores équivalents ( $L_{Aeq}$ ) de 46,8 et 47,0 dB respectivement.

**Tableau 3.1** – Date, heure de mesure et conditions météorologiques (source : Consorzio LaMMA).

Date	Heure début	Heure fin	Durée	Conditions météorologiques			
				Température moyenne air	Humidité relative	Vent	
						Vitesse	Direction
24/09/2020	09:45:00	11:00:00	01:15:00	17 °C	80 %	5 m/s	nord-est

### 3.4 Instruments de mesure utilisés

Les activités de mesure *sur site* ont été réalisées à l'aide des instruments du Laboratoire Systèmes d'éclairage et Acoustique (Laboratorio di Illuminotecnica ed Acustica - LIA) du Département de Génie de l'Énergie, des Systèmes, du Territoire et des Constructions (Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi del Territorio e delle Costruzioni - DESTeC) de l'École d'Ingénieurs de l'Université de Pise :

- 1- analyseur portable bi-canal Brüel & Kjær, type 2270 (avec étalonnage en cours de validité) ,
- 2- écran pare-vent Brüel & Kjær de 90 mm avec détection automatique ;
- 3- trépied Brüel & Kjær pour analyseur portable ;
- 4- distancemètre laser pour mesurer la distance source-sonomètre.

Pour la post-élaboration de la mesure acoustique obtenue, on a utilisé le logiciel dédié « Measurement Partner Suite BZ5503 » Brüel & Kjær.

### 3.5 Valeurs relevées

Pendant l'activité de mesure, les valeurs suivantes ont été relevées :

- 1- niveau de pression acoustique pondérée « A » avec une constante de temps « fast »,  $L_{AF}$  (dB).
- 2- niveau continu équivalent de pression acoustique pondérée «A»,  $L_{Aeq}$  (dB) ;
- 3- niveau de pression acoustique de crête pondérée «C»,  $L_{Ccrête}$  (dB) ;

La comparaison des émissions sonores, traitée dans le paragraphe suivant, a été effectuée sur la base des valeurs des niveaux de pression acoustique  $L_{AF}$ .

### 3.6 Configurations de mesure adoptées

Pour chaque véhicule, les relevés des niveaux sonores relatifs aux émissions sonores ont été effectués à la fois à l'arrière et à l'avant du véhicule. Tant pour les relevés effectués à l'arrière que pour ceux effectués à l'avant, le sonomètre a été placé au niveau de l'axe médian du véhicule, à une distance d'1 m par rapport à la partie la plus saillante du véhicule et à une hauteur de 80 cm par rapport au sol. Un

code d'identification unique a été attribué à chaque configuration de mesure, notamment pour faciliter la lecture des résultats. Le Tableau 3.2 récapitule les codes d'identification utilisés.

Toutes les mesures ont été effectuées avec un seul véhicule allumé, stationné dans une position fixe avec frein à main enclenché, en l'absence de conducteur et de passagers à bord.

**Tableau 3.2** – Codes d'identification des configurations de mesure utilisées

ID	Description synthétique de la configuration
DS-01	Relevé des émissions sonores du véhicule avec moteur diesel effectué à l'arrière
DS-02	Relevé des émissions sonores du véhicule avec moteur diesel effectué à l'avant
EL-01	Relevé des émissions sonores du véhicule avec moteur électrique effectué à l'arrière
EL-02	Relevé des émissions sonores du véhicule avec moteur électrique effectué à l'avant

### 3.7 Résultats de l'activité de mesure et comparaison des émissions sonores

Sont résumés ci-dessous les résultats obtenus grâce aux activités de mesure des émissions sonores des véhicules analysés. Pour chaque configuration de mesure, sont indiqués ci-dessous :

- un tableau indiquant le code d'identification de la configuration de mesure (voir Tableau 3.2), les heures de début et de fin de l'intervalle de temps de référence auquel se rapportent les niveaux sonores, la durée de l'intervalle de temps de référence, le niveau sonore continu équivalent  $L_{Aeq}$ , le niveau de crête  $L_{Ccrête}$ , le niveau de pression acoustique moyen dans l'intervalle de temps de référence  $L_{AFmed}$ , les valeurs maximum  $L_{AFmax}$  et minimum  $L_{AFmin}$  du niveau de pression acoustique relevées dans l'intervalle de temps de référence ;
- un graphique avec l'évolution du niveau  $L_{Aeq}$  dans l'intervalle de temps de référence ;
- un graphique avec l'évolution du niveau  $L_{AF}$  dans l'intervalle de temps de référence ;
- un histogramme représentatif du spectre d'émission sonore du véhicule à l'instant caractérisé par la valeur maximum de  $L_{AF}$ .

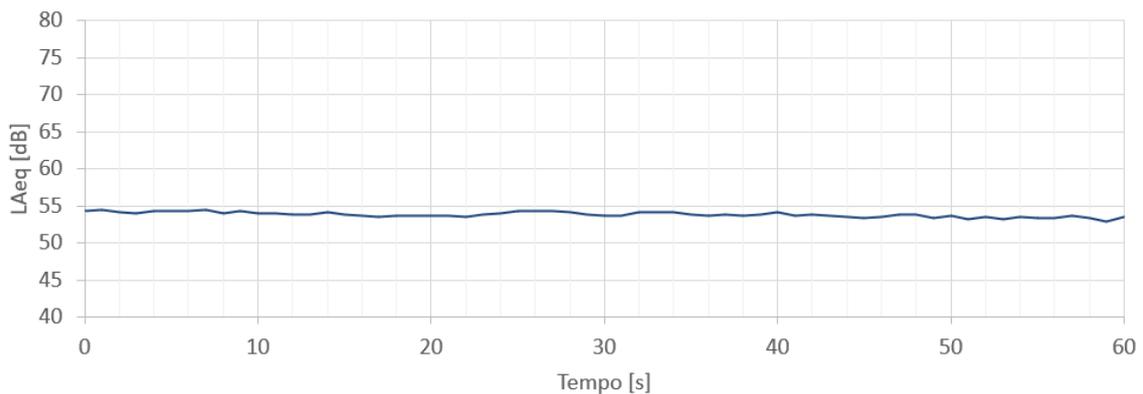
### 3.8 Résultats des mesures des émissions sonores du véhicule avec moteur diesel effectué à l'arrière

Les niveaux sonores obtenus grâce au relevé des émissions sonores du véhicule avec moteur diesel effectué à l'arrière de ce dernier (selon la configuration de mesure décrite dans les paragraphes précédents) sont indiqués dans le Tableau 3.3.

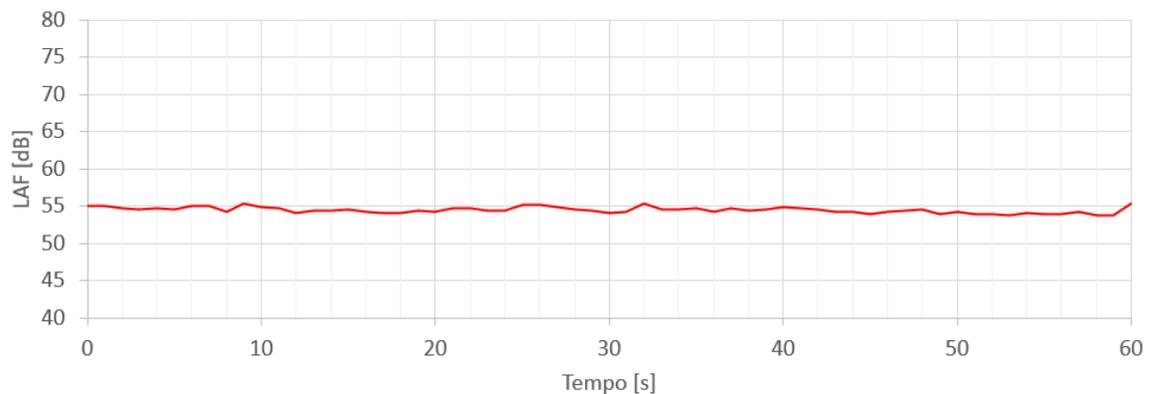
**Tableau 3.3** – Niveaux sonores relevés avec sonomètre placé à l'arrière du véhicule diesel

ID	Heure début	Heure fin	Durée	L <sub>Aeq</sub> (dB)	L <sub>Ccrête</sub> (dB)	L <sub>AFmed</sub> (dB)	L <sub>AFmax</sub> (dB)	L <sub>AFmin</sub> (dB)
DS-02	10:00:42	10:01:42	00:01:00	53,8	80,1	54,4	55,3	53,7

Les Figures 3.1A et 3.1B montrent les évolutions dans le temps du niveau sonore continu équivalent L<sub>Aeq</sub> et du niveau de pression acoustique L<sub>AF</sub>. Les évolutions sont tracées pour un temps de référence de 60 secondes. L'intervalle de temps de référence a été extrait en phase de post-élaboration, après s'être assurés d'avoir atteint un régime d'émission sonore stable après la phase de démarrage du véhicule. La durée de l'intervalle de référence est considérée comme adéquate pour obtenir une représentation fiable des émissions sonores du véhicule.



**Fig. 3.1A** – DS-01 : évolution en fonction du temps (time history) du niveau sonore continu équivalent L<sub>Aeq</sub>.



**Fig. 3.1B** – DS-01 : évolution en fonction du temps (time history) du niveau de pression acoustique L<sub>AF</sub>.

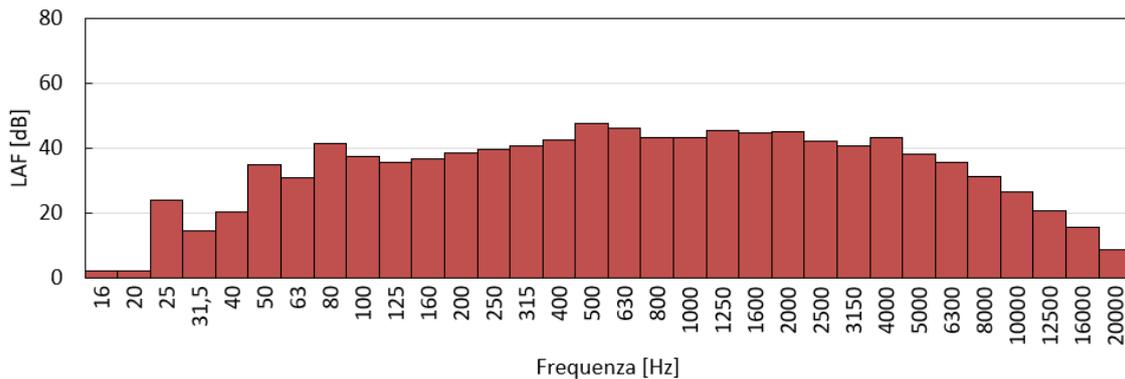


Fig. 3.1C – DS-01 : spectre en fréquence de l'émission sonore du véhicule (t= 32 s).

La Figure 3.1C montre le spectre d'émission sonore du véhicule à l'instant (t) où est relevée la valeur la plus élevée du niveau  $L_{AF}$ , qui, dans le cas précis de cette mesure, intervient à la seconde 32 (t=32 s) de l'intervalle de temps de référence.

### 3.9 Résultats des mesures des émissions sonores du véhicule avec moteur diesel effectué à l'avant

Les niveaux sonores obtenus grâce au relevé des émissions sonores du véhicule avec moteur diesel effectué à l'avant de ce dernier (selon la configuration de mesure décrite dans les paragraphes précédents) sont indiqués dans le Tableau 3.4.

Tableau 3.4 – Niveaux sonores relevés avec sonomètre placé à l'avant du véhicule diesel

ID	Heure début	Heure fin	Durée	$L_{Aeq}$ (dB)	$L_{Ccrête}$ (dB)	$L_{AFmed}$ (dB)	$L_{AFmax}$ (dB)	$L_{AFmin}$ (dB)
DS-02	10:02:27	10:03:27	00:01:00	60,1	85,2	60,5	61,5	59,9

Les Figures 3.2A et 3.2B montrent les évolutions dans le temps du niveau sonore continu équivalent  $L_{Aeq}$  et du niveau de pression acoustique  $L_{AF}$ . Les évolutions sont tracées pour un temps de référence de 60 secondes. L'intervalle de temps de référence a été extrait en phase de post-élaboration, après s'être assurés d'avoir atteint un régime d'émission sonore stable après la phase de démarrage du véhicule. La durée de l'intervalle de référence est considérée comme adéquate pour obtenir une représentation fiable des émissions sonores du véhicule.

La Figure 3.2C montre le spectre d'émission sonore du véhicule à l'instant (t) où est relevée la valeur la plus élevée du niveau  $L_{AF}$ , qui, dans le cas précis de cette mesure, intervient à la seconde 22 (t=22 s) de l'intervalle de temps de référence.

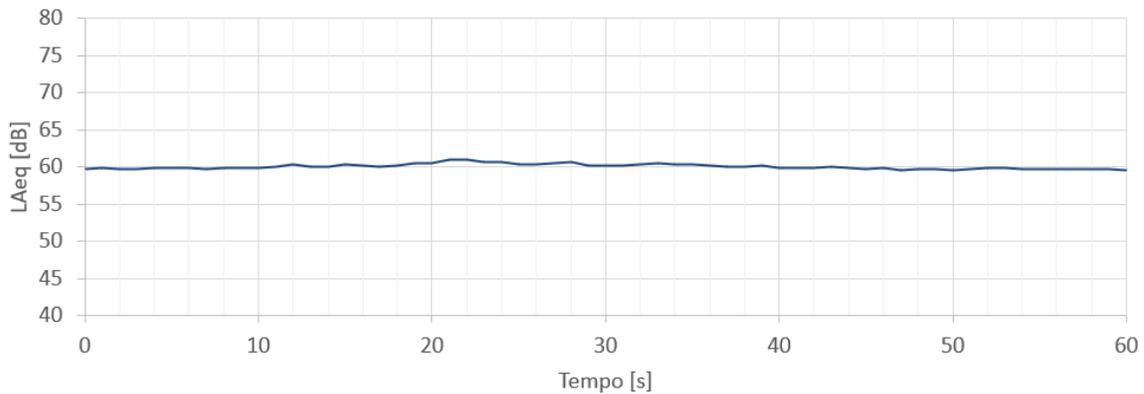


Fig. 3.2A – DS-02 : évolution en fonction du temps (time history) du niveau sonore continu équivalent  $L_{Aeq}$ .

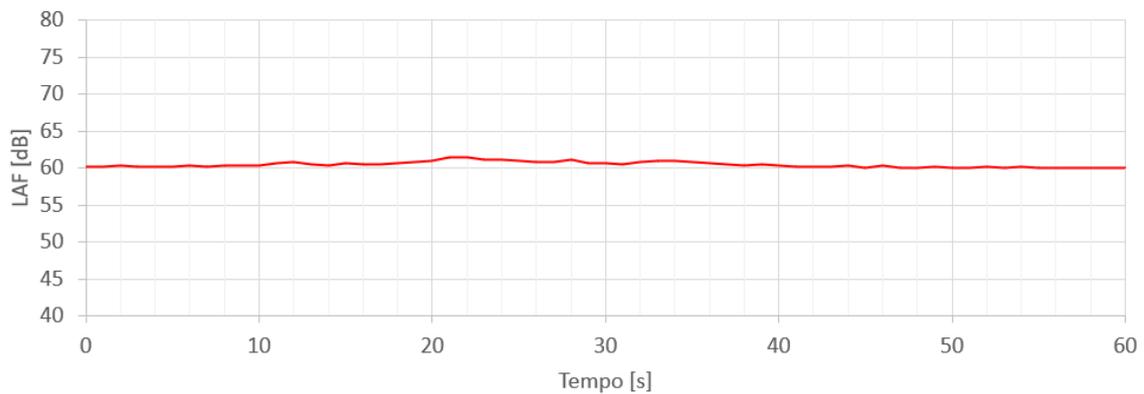


Fig. 3.2B – DS-02 : évolution en fonction du temps (time history) du niveau de pression acoustique  $L_{AF}$ .

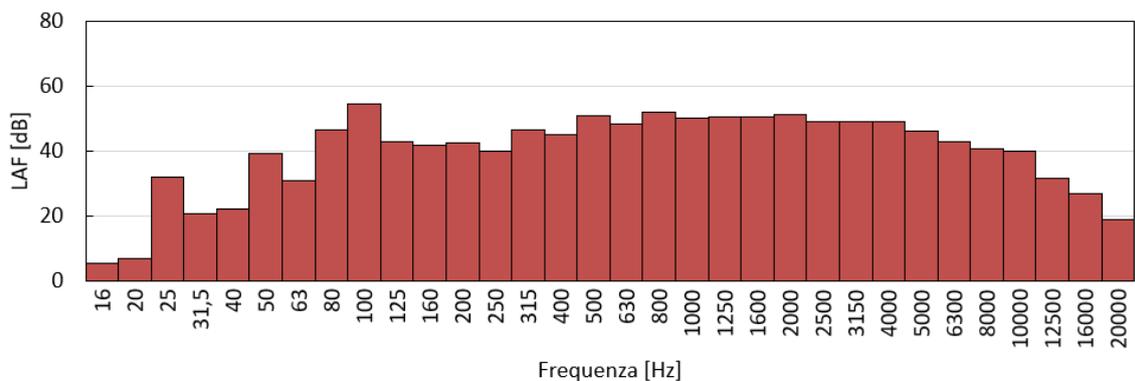


Fig. 3.2C – DS-02 : spectre en fréquence de l'émission sonore du véhicule (t= 22 s).

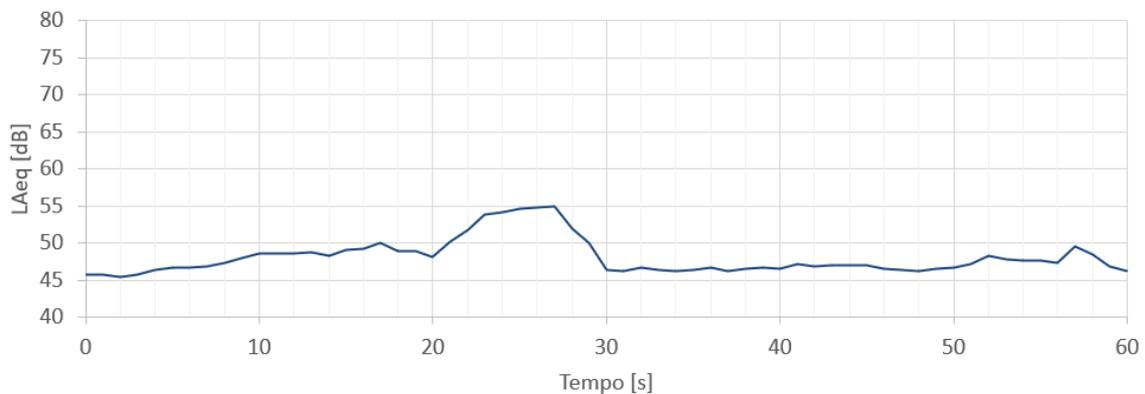
### 3.8 Résultats des mesures des émissions sonores du véhicule avec moteur électrique effectué à l'arrière

Les niveaux sonores obtenus grâce au relevé des émissions sonores du véhicule avec moteur électrique effectué à l'arrière de ce dernier (selon la configuration de mesure décrite dans les paragraphes précédents) sont indiqués dans le Tableau 3.5.

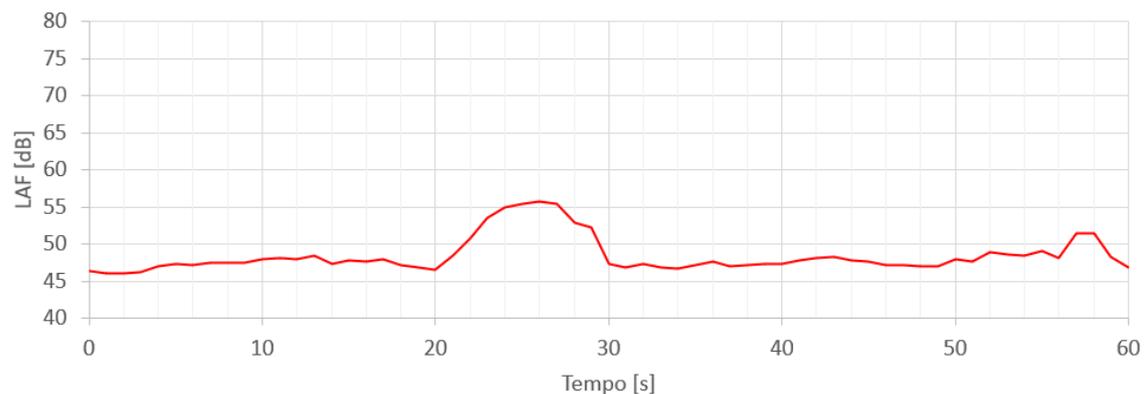
**Tableau 3.5** – Niveaux sonores relevés avec sonomètre placé à l'arrière du véhicule électrique

ID	Heure début	Heure fin	Durée	L <sub>Aeq</sub> (dB)	L <sub>Ccrête</sub> (dB)	L <sub>AFmed</sub> (dB)	L <sub>AFmax</sub> (dB)	L <sub>AFmin</sub> (dB)
EL-01	09:53:39	09:54:39	00:01:00	49,0	79,2	49,4	57,7	46,1

Les Figures 3.3A et 3.3B montrent les évolutions dans le temps du niveau sonore continu équivalent L<sub>Aeq</sub> et du niveau de pression acoustique L<sub>AF</sub>. Les évolutions sont tracées pour un temps de référence de 60 secondes. L'intervalle de temps de référence a été extrait en phase de post-élaboration, après s'être assurés d'avoir atteint un régime d'émission sonore stable après la phase de démarrage du véhicule. La durée de l'intervalle de référence est considérée comme adéquate pour obtenir une représentation fiable des émissions sonores du véhicule.



**Fig. 3.3A** – EL-01 : évolution en fonction du temps (time history) du niveau sonore continu équivalent L<sub>Aeq</sub>.



**Fig. 3.3B** – EL-01 : évolution en fonction du temps (time history) du niveau de pression acoustique L<sub>AF</sub>.

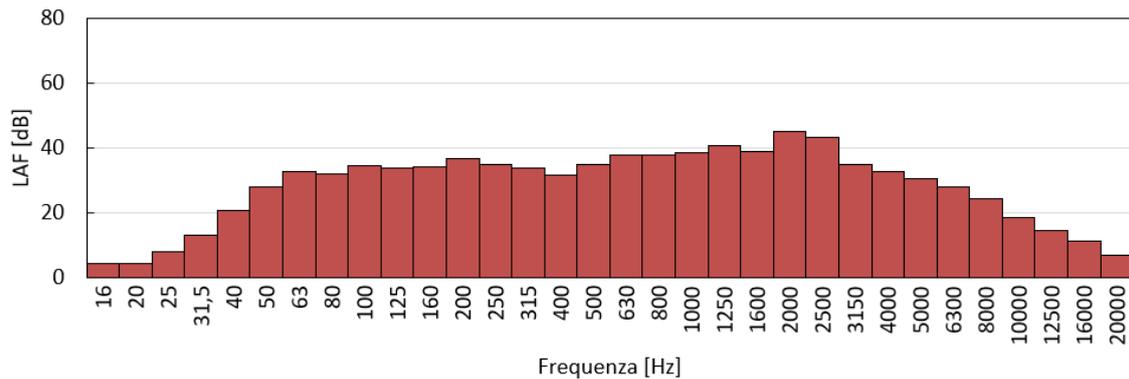


Fig. 3.3C – EL-01 : spectre en fréquence de l'émission sonore du véhicule (t= 27 s).

La Figure 3.3C montre le spectre d'émission sonore du véhicule à l'instant (t) où est relevée la valeur la plus élevée du niveau  $L_{AF}$ , qui, dans le cas précis de cette mesure, intervient à la seconde 27 (t=27 s) de l'intervalle de temps de référence.

### 3.11 Résultats des mesures des émissions sonores du véhicule avec moteur électrique effectué à l'avant

Les niveaux sonores obtenus grâce au relevé des émissions sonores du véhicule avec moteur électrique effectué à l'avant de ce dernier (selon la configuration de mesure décrite dans les paragraphes précédents) sont indiqués dans le Tableau 3.6.

Tableau 3.6 – Niveaux sonores relevés avec sonomètre placé à l'avant du véhicule électrique

ID	Heure début	Heure fin	Durée	$L_{Aeq}$ (dB)	$L_{Ccrête}$ (dB)	$L_{AFmed}$ (dB)	$L_{AFmax}$ (dB)	$L_{AFmin}$ (dB)
EL-02	10:12:27	10:13:27	00:01:00	56,8	80,5	58,0	64,6	48,2

Les Figures 3.4A et 3.4B montrent les évolutions dans le temps du niveau sonore continu équivalent  $L_{Aeq}$  et du niveau de pression acoustique  $L_{AF}$ . Les évolutions sont tracées pour un temps de référence de 60 secondes. L'intervalle de temps de référence a été extrait en phase de post-élaboration, après s'être assurés d'avoir atteint un régime d'émission sonore stable après la phase de démarrage du véhicule. La durée de l'intervalle de référence est considérée comme adéquate pour obtenir une représentation fiable des émissions sonores du véhicule.

La Figure 3.4C montre le spectre d'émission sonore du véhicule à l'instant (t) où est relevée la valeur la plus élevée du niveau  $L_{AF}$ , qui, dans le cas précis de cette mesure, intervient à la seconde 54 (t=54 s) de l'intervalle de temps de référence.

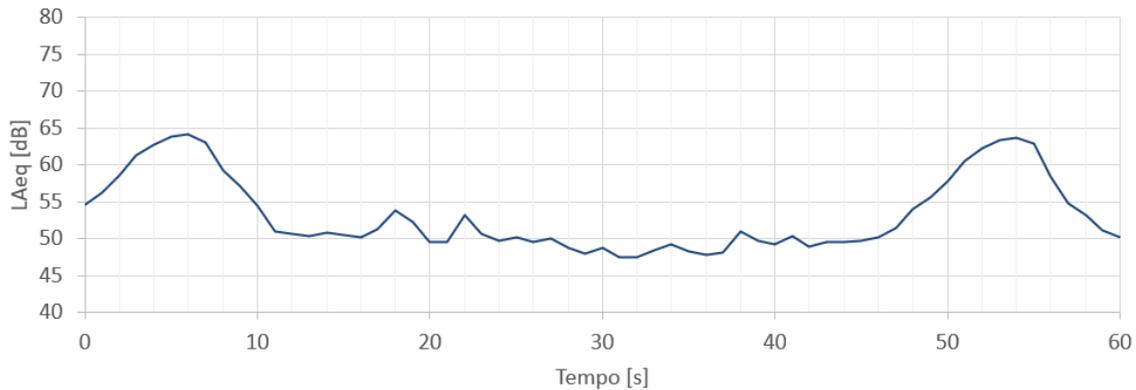


Fig. 3.4A – EL-02 : évolution en fonction du temps (time history) du niveau sonore continu équivalent  $L_{Aeq}$ .

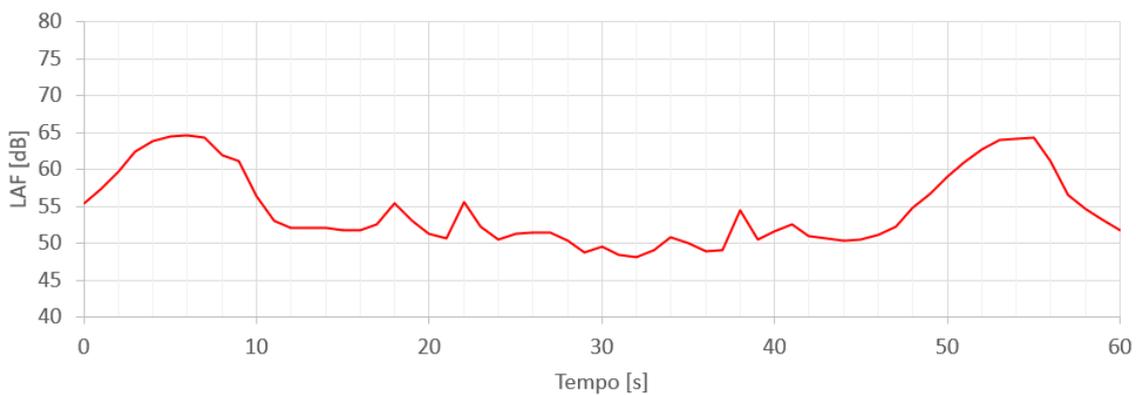


Fig. 3.4B – EL-02 : évolution en fonction du temps (time history) du niveau de pression acoustique  $L_{AF}$ .

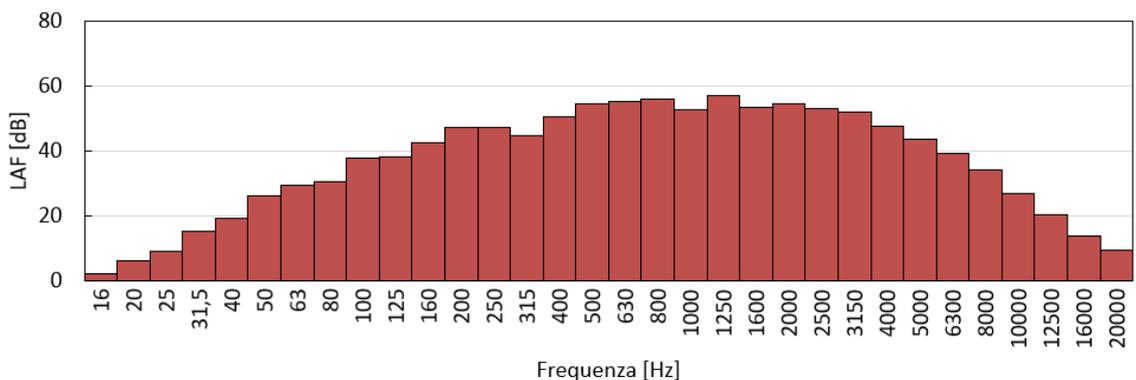


Fig. 3.4C – EL-02 : spectre en fréquence de l'émission sonore du véhicule ( $t= 54$  s).

### 3.12 Comparaison des émissions sonores entre un véhicule équipé d'un moteur diesel et un véhicule équipé d'un moteur électrique

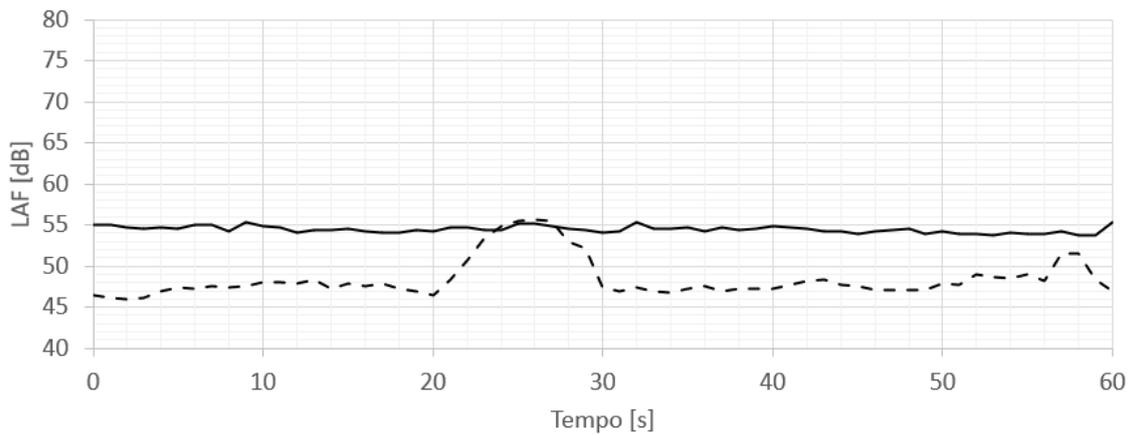
Les Figures 3.5A et 3.5B comparent les émissions des deux véhicules, l'un équipé d'un moteur diesel, l'autre d'un moteur électrique. La comparaison est faite sur la

base des évolutions des niveaux de pression acoustique  $L_{AF}$ , dans l'intervalle de temps de référence, se rapportant respectivement aux émissions sonores relevées à l'arrière (Fig. 3.5A) et à celles relevées à l'avant (Fig. 3.5B) des véhicules.

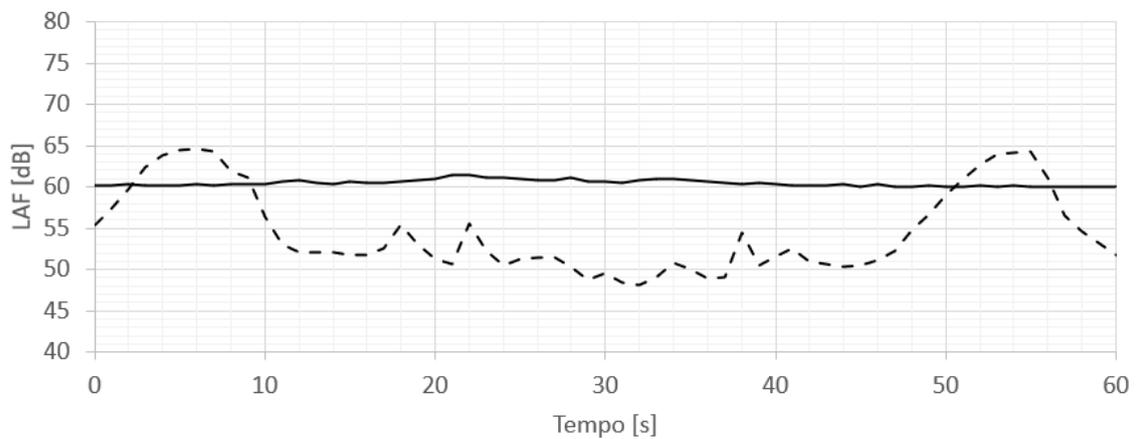
Comme les évolutions illustrées dans les figures permettent d'observer, le véhicule avec moteur électrique présente des émissions sonores caractérisées par des niveaux de pression acoustique  $L_{AF}$  en moyenne inférieurs à ceux du véhicule avec moteur diesel. La réduction moyenne de la valeur de  $L_{AF}$  obtenue par le véhicule électrique par rapport au véhicule diesel est d'environ 6 dB, aussi bien à l'avant qu'à l'arrière.

Cependant, en observant les évolutions du niveau  $L_{AF}$  enregistrées pour le véhicule électrique, on remarque (aussi bien dans les relevés effectués à l'arrière que dans ceux effectués à l'avant) la présence de pics (voir Fig. 3.5A à la seconde 27 du temps de référence et la Fig. 3.5B aux secondes 6 et 54 du temps de référence). Ces pics sont dûs à l'activation du ventilateur de refroidissement de la batterie nécessaire pour garantir une autonomie de fonctionnement adéquate du moteur électrique. Pendant l'activité de relevé des émissions sonores menée, on a pu constater que, dans les conditions utilisées pour les mesures, l'activation du ventilateur de refroidissement de la batterie intervenait environ toutes les 50 secondes pour une durée approximative de 10 secondes. Pendant l'activation du ventilateur, les émissions sonores du véhicule augmentent, devenant parfaitement équivalentes, en termes de  $L_{AF}$ , à celles du véhicule diesel.

Si l'on décidait d'évaluer les différences de niveau de pression acoustique  $L_{AF}$  entre le véhicule diesel et le véhicule électrique en excluant, pour ce dernier, les activations du ventilateur de refroidissement de la batterie, on obtiendrait des réductions de  $L_{AF}$  de 7,5 dB et 9,5 dB respectivement pour les relevés effectués à l'arrière et ceux effectués à l'avant. La différence plus importante obtenue à l'avant se justifie par le fait que le moteur du véhicule diesel est précisément situé à l'avant, où se concentre son émission sonore, tandis que dans le cas du véhicule électrique, hors activation du ventilateur, les faibles émissions sonores sont réparties de façon plus homogène entre la partie avant et la partie arrière.



**Fig. 3.5A** – Évolutions en fonction du temps du niveau de pression acoustique  $L_{AF}$  relevé à l'arrière du véhicule avec moteur diesel (ligne continue) et du niveau de pression acoustique  $L_{AF}$  relevé à l'arrière du véhicule avec moteur électrique (ligne discontinue).



**Fig. 3.5B** – Évolutions en fonction du temps du niveau de pression acoustique  $L_{AF}$  relevé à l'avant du véhicule avec moteur diesel (ligne continue) et du niveau de pression acoustique  $L_{AF}$  relevé à l'avant du véhicule avec moteur électrique (ligne discontinue).