

PLAN

URBANISME

CONSTRUCTION

ARCHITECTURE

Rapport d'études, de mesures et questionnaire
acoustiques sur l'évaluation des immeubles à cour
couverte

*Bâtiment DomoFrance – Ilôt
Etranger/Blanqui/Achard*

N° Affaire : 2019-142a-bm1
Document référence : r2004001b-bm1.docx
Le 22 septembre 2020

GROUPE GAMBA

une filiale de GAMBA
INTERNATIONAL

serdB et Acouphen sont
des sociétés du Groupe Gamba



ACOUPHEN
ingénierie en acoustique et vibrations

Nos agences

Angers	Nantes
Fort de France	Rodez
Garges-Lès-Gonesse	Saint-Denis
Lyon	Toulouse
Marseille	Villejust

contact@acoustique-gamba.fr

Siège social

163 rue du Colombier
31670 LABEGE
Tél: +33 (0)5 62 24 36 76

SAS au capital de 320 520 €
Code APE 7112 B
SIRET 450 059 001 000 21
<https://www.gamba.fr>

Sommaire

1	Préambule	4
2	Phénomènes acoustiques à considérer.....	5
3	Conditions des mesures.....	6
3.1	Dates.....	6
3.2	Matériels utilisés.....	6
3.3	Protocole de mesurages.....	6
4	Analyse des mesures acoustiques	8
4.1	Isolement aux bruits aérien entre logements.....	8
4.1.1	Résultats des mesures	8
4.1.2	Commentaires et analyse des résultats	11
4.2	Niveaux de bruit de chocs.....	12
4.3	Isolements aux bruits aériens vis-à-vis des bruits de l'atrium	13
4.4	Durée de réverbération.....	14
4.5	Décroissance spatiale du niveau sonore.....	15
4.5.1	Source sonore positionnée au sol dans l'atrium	15
4.5.2	Décroissance spatiale à l'intérieur de l'atrium et à l'extérieur du bâtiment avec source sonore positionnée dans un logement.....	17
4.5.3	Analyse des résultats.....	19
4.6	Niveaux de bruit résiduel.....	20
4.6.1	Extérieur du bâtiment.....	20
4.6.2	Intérieur de l'atrium.....	23
4.6.3	Niveau de bruit résiduel à l'intérieur d'un logement.....	25
4.6.4	Comparaison et analyse des niveaux de bruit mesurés à extérieur et dans l'atrium....	26
4.7	Evaluation du critère de rapport signal sur bruit dans l'atrium.....	28
4.7.1	L'intelligibilité en fonction du rapport signal/bruit.....	28
4.7.2	Analyse du rapport Signal/Bruit dans l'Atrium.....	29
5	Modélisation de l'Atrium	31
5.1	Méthodologie	31
5.2	Validité du modèle	31
5.3	Hypothèses de calcul.....	32
5.3.1	Sources de bruit	32
5.3.2	Bruit de fond.....	32
5.4	Résultats des modélisations.....	33
5.4.1	Cartographie de la voie humaine dans l'atrium	33
5.4.2	Analyse du rapport Signal/Bruit.....	34
5.5	Mise en application.....	35
6	Analyse des questionnaires.....	36
6.1	Taille de l'échantillon d'analyse.....	36
6.2	Résultats.....	36
6.2.1	Typologie des répondants.....	36
6.2.2	Evaluation de la gêne sonore par les répondants.....	38
6.3	Conclusion sur l'analyse des questionnaires.....	43
7	Conclusion	44
8	Annexe 1 : Définitions et incertitudes	48
	Annexe 2 : Isolement acoustique standardisé.....	50
	Annexe 3 : Mesure du niveau de bruit de choc	52
	Annexe 4 : Mesure de l'isolement aux bruits aériens provenant de l'atrium.....	54

Annexe 5 : Mesure de la durée de réverbération	55
Annexe 6 : Méthode d'analyse du niveau de bruit résiduel.....	56
Annexe 7 : Exemple de questionnaire.....	57
Annexe 8 : Protocole de suivi expérimental de l'opération (PUCA) – Extrait de la page 10.....	59

1 Préambule

L'opération consistant en la construction de 149 logements sur l'îlot Etranger/Blanqui/Achard, livrés en 2015 et sous la gestion de Domofrance dans la métropole bordelaise (Bassins à flot, Bacalan), entre dans le cadre d'une opération expérimentale bioclimatique. Elle est conjointement suivie par deux organismes :

- Plan Urbanisme Construction et Architecture (PUCA),
- Direction Générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction (DGUHC)

Le maître d'œuvre, l'Agence Nicolas Michelin & Associés (ANMA), a bénéficié d'adaptation à la réglementation du fait de l'architecture particulière et innovante du projet, notamment une organisation du bâtiment autour d'un atrium couvert. Ces dérogations concernent le temps de réverbération dans l'atrium et l'isolement acoustique des logements par rapport à l'atrium. Les modifications sont synthétisées dans le *Protocole de suivi expérimental de l'opération* rédigé par le PUCA (extrait visible en Annexe 8) et les objectifs indiqués dans l'étude acoustique de conception de la phase DCE du 07/09/2011 (réf. H7624-2) réalisée par le bureau d'étude Peutz.

Les objectifs imposés par le cahier des charges dérogatoire ont été en partie atteints (rapport Direction territoriale Sud-Ouest du Cerema : *Suivi évaluation de l'immeuble à cour ouverte - SNC BORDEAUX ACHARD - Version V 2.0 du 27/11/2017*), mais un doute existe sur la corrélation entre les objectifs acoustiques du cahier des charges et le ressenti des occupants.

Il semble donc intéressant, avant de donner d'autres dérogations, d'apprécier le niveau de gêne acoustique éventuellement ressentie par les occupants, de mieux cerner les origines potentielles de celle-ci, et d'en déduire, le cas échéant, les critères pertinents et la valeur de ces critères à respecter.

Dans ce cadre, Marc Jaouen (PUCA), a consulté GAMBA Acoustique dans le but d'identifier et de comprendre les mécanismes acoustiques en jeu dans ce type d'opération, et d'améliorer, le cas échéant, les cahiers des charges des prochaines opérations de ce type.

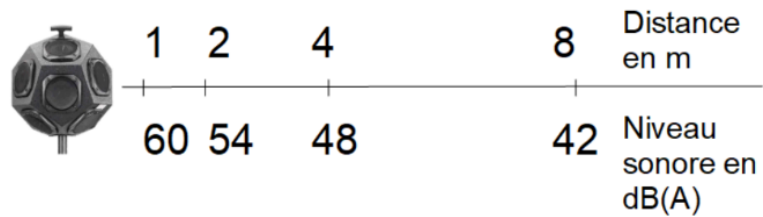
Nous avons donc explicité les phénomènes acoustiques modifiés par le parti pris architectural faisant l'objet des dérogations, et réalisé une phase de diagnostic composé d'observations et de relevés acoustiques. Ces relevés physiques ont été complétés par un questionnaire d'appréciation des qualités acoustiques du bâti. Ce questionnaire est basé sur une initiative du CINOV GIAC (Groupement de l'Ingénierie Acoustique), qui tend à être le plus exhaustif possible sur l'appréciation des qualités acoustiques d'un logement. Par ailleurs, une modélisation numérique de la propagation sonore dans l'atrium a été réalisée permettant de déterminer les paramètres et critères prépondérants concernant le confort acoustique pour cette typologie de bâtiment.

On notera que l'opération « Eden Square » concernant la construction de 87 logements sur la commune de Chantepie en Ille et Vilaines, a également fait l'objet d'une étude acoustique approfondie similaire en 2019 (*rapport d'étude réf. r1710004d-bm1*).

2 Phénomènes acoustiques à considérer

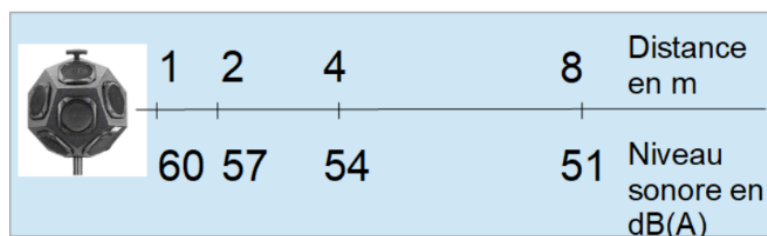
Lorsque les sources sonores placées à l'extérieur, rayonnent en « **champ libre** ». **Le son décroît de 6dB/Doublement de Distance**, notée DD, ainsi, par exemple, si une personne parle à voix normale, on recevra les niveaux sonores suivants, en fonction de la distance au locuteur :

- à 1 m : 60 dB(A),
- à 2 m : 54 dB(A),
- à 4 m : 48 dB(A),
- à 8 m : 42 dB(A)



L'atrium constitue un espace fermé, sur lequel ouvrent les logements. De ce fait le champ acoustique engendré par une source sonore placée dans cet espace fermé est réverbéré par les parois et décroît moins vite que le champ libre. **Dans un espace fermé « ordinaire »**, dans lequel aucune précaution n'a été prise pour le rendre plus ou moins réverbérant, la décroissance spatiale du champ sonore est fréquemment de l'ordre **de 3 dB/DD**. Ainsi, la même personne parlant à voix normale engendrera les niveaux sonores suivants, en fonction de la distance au locuteur :

- à 1 m : 60 dB(A),
- à 2 m : 57 dB(A),
- à 4 m : 54 dB(A),
- à 8 m : 51 dB(A).



Ainsi, les bruits « portent plus loin », avec comme conséquences :

- les mêmes événements provoquent un niveau sonore plus élevé, et durent plus longtemps ; ils peuvent donc devenir plus gênants,
- une meilleure propagation des bruits peut conduire à une perte d'intimité entre les espaces.

Enfin, l'atrium constitue un espace protégé des bruits extérieurs de la rue, et en l'absence de sources de bruits intérieures, le niveau sonore peut y être plus faible qu'à l'extérieur, dans la rue.

3 Conditions des mesures

3.1 Dates

Les campagnes de mesurages acoustiques ont été réalisées les 18 et 19 Février 2020.

3.2 Matériels utilisés

Les mesures ont été réalisées à l'aide de :

- un sonomètre intégrateur stockeur de marque 01dB type Black Solo, classe 1, n° de série : 65620, n° pré-amplificateur : 11699, n° micro : 45030.
- un sonomètre intégrateur stockeur de marque 01dB type Black Solo, classe 1, n° de série : 65726, n° pré-amplificateur : 16549, n° micro : 166438.
- un sonomètre intégrateur stockeur de marque 01dB type Black Solo, classe 1, n° de série : 65116, n° pré-amplificateur : 15413, n° micro : 134970.
- un sonomètre intégrateur stockeur de marque 01dB type Black Solo, classe 1, n° de série : 66118, n° pré-amplificateur : 17049, n° micro : 134969.
- un calibre de marque Brüel & Kjær type 4231, classe 1, n° de série : 2242317.
- d'une source sonore hémisphérique Hemys,
- d'une source sonore Alto professionnel Transport 12
- une machine à chocs 3207 (Brüel et Kjær), n° série : 2206341,
- des ballons de baudruche et un revolver d'alarme calibre 9 mm de type Grizzly de marque Smith & Wesson ont servi de sources de bruit impulsionnelles pour mesurer les durées de réverbération des locaux.

Les sonomètres ci-dessus font l'objet d'une vérification périodique (tous les 2 ans) au Laboratoire National d'Essais (LNE) et d'une auto-vérification tous les 6 mois (méthode d'auto-vérification selon norme NFS 31-010).

Les sonomètres ont été calibrés avant et après les opérations de mesurage.

La durée d'intégration des sonomètres a été fixée à 1 seconde

3.3 Protocole de mesurages

Les opérations de mesurages se sont déroulées sur le site du bâtiment Domofrance sur l'Îlot Etranger/Blanqui/Achard. La particularité de ce projet consiste en une répartition des logements autour d'un atrium. Il nous a donc paru important d'orienter les mesures acoustiques sur l'ambiance sonore dans l'atrium et la relation sonore entre les appartements ou plus précisément les pièces des appartements donnant sur l'atrium. Cependant, pour avoir des éléments de comparaison, des mesures acoustiques similaires ont également été réalisées du côté extérieur de l'atrium.

Les définitions des grandeurs utilisées et les incertitudes de mesure sont présentées en **Annexe 1**.

Les mesures que nous avons réalisées sont les suivantes :

- **des isolements entre logements :**
 - ✓ coté atrium, fenêtres fermées
 - ✓ coté atrium, fenêtres ouvertes et avec plusieurs points intermédiaires
 - ✓ coté extérieur, fenêtres fermées
 - ✓ coté extérieur, fenêtres ouvertes et avec plusieurs points intermédiaires
 - ✓ un isolement aux bruits aériens entre l'atrium et les logements
- **des isolements aux bruits de choc entre logements, entre une passerelle de l'atrium et un logement**
- **des niveaux de bruit longue durée :**
 - ✓ niveau de bruit ambiant à l'intérieur de l'atrium sur une période de 24 heures,
 - ✓ niveau de bruit ambiant en façade extérieure sur une période de 24 heures,
 - ✓ niveau de bruit de fond à l'intérieur d'un logement fenêtre ouverte et fermée,
- **des durées de réverbération dans l'atrium,**
- **des décroissances spatiales de niveaux sonores :**
 - ✓ dans l'atrium avec la source sonore dans l'atrium,
 - ✓ dans l'atrium avec la source sonore dans un logement,
 - ✓ en façade avec la source sonore dans un logement

Lors de la campagne de mesures, l'accès aux appartements a été compliqué malgré leur programmation anticipées et nous avons dû nous adapter. Les configurations de logement mesurées sont donc celles où les habitants étaient présents, et qui ont bien voulu nous laisser entrer.

Ce rapport présente les mesures réalisées conformément à la norme NF EN ISO 10052, c'est à dire fenêtres fermées. En complément de ces mesures réglementaires normalisées, nous avons en plus réalisé les mesures fenêtres ouvertes. Ce type de mesures nous permet d'apprécier la qualité acoustique d'un point de vue qui dépasse le contexte normatif et de se rapprocher d'une certaine réalité de la vie des usagers.

Le CEREMA avait déjà réalisé des mesures qui sont récapitulés dans un rapport : *Suivi évaluation de l'immeuble à cour ouverte - SNC BORDEAUX ACHARD - Version V 2.0 du 27/11/2017.*

Le laboratoire GRECCAU a également réalisé des mesures acoustiques qui sont récapitulés dans un rapport : *Rapport 2018 : Approche pluridisciplinaire des ambiances, des comforts et des usages 23/70 d'immeubles d'habitation à « cour couverte » - Juillet 2018.* Afin de compléter l'évaluation que nous avons effectué sur place et d'affiner notre analyse, une partie de ces résultats sont intégrés dans nos observations lorsqu'ils sont disponibles.

4 Analyse des mesures acoustiques

4.1 Isolement aux bruits aérien entre logements

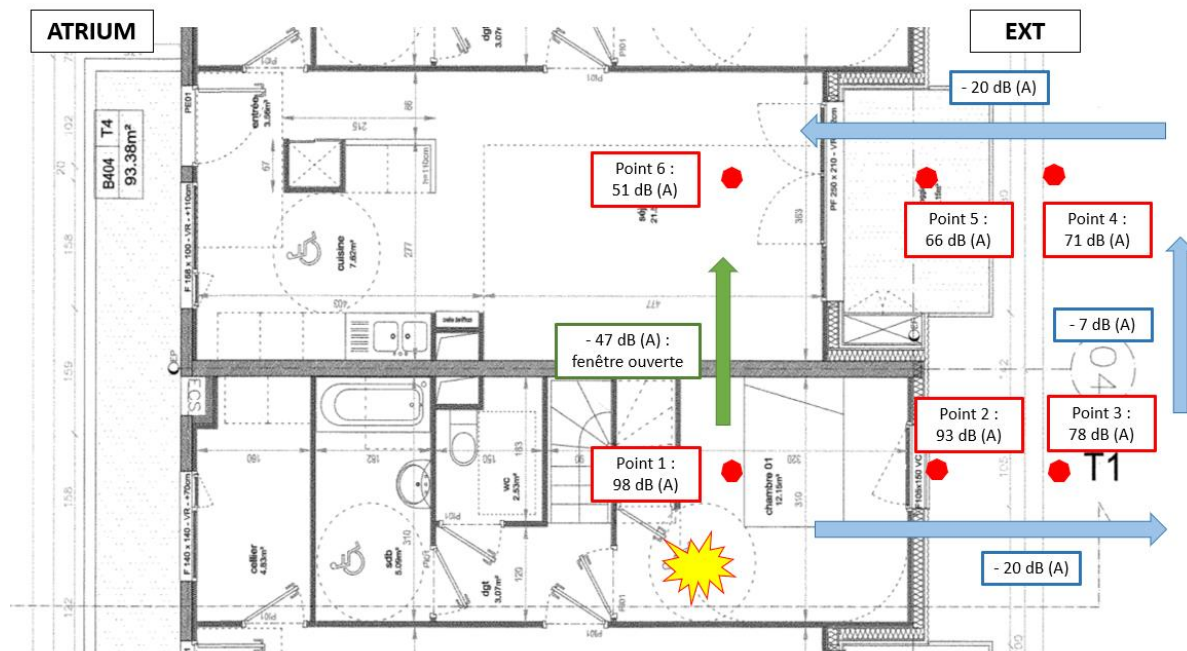
4.1.1 Résultats des mesures

Les tableaux présentés dans cette partie récapitulent les valeurs d'isolement au bruit aérien globales brutes. La valeur d'isolement brut, noté D_b , correspond à la soustraction arithmétique du niveau sonore à l'émission et du niveau sonore à la réception. Cette valeur présente l'inconvénient de ne pas être normalisée, donc difficilement comparable à d'autres cas de figures de ce type, mais elle présente l'avantage de fournir l'isolement, ou la décroissance réelle, et donc de s'approcher plus précisément du niveau sonore ou de la décroissance réelle perçue au point de mesure. La décroissance entre chaque point de point de mesure permet également d'observer l'impact de la l'atrium sur la propagation du son entre les deux logements considérés.

Les mesures ont été réalisées horizontalement entre les logements adjacents B404 et B403. Deux couples de locaux sont considérés : Chambre B403 vers Séjour B404 (côté extérieur) et Cellier B403 vers Séjour B404 (coté Atrium).

Configuration 1 -Locaux donnant sur l'extérieur fenêtre ouverte

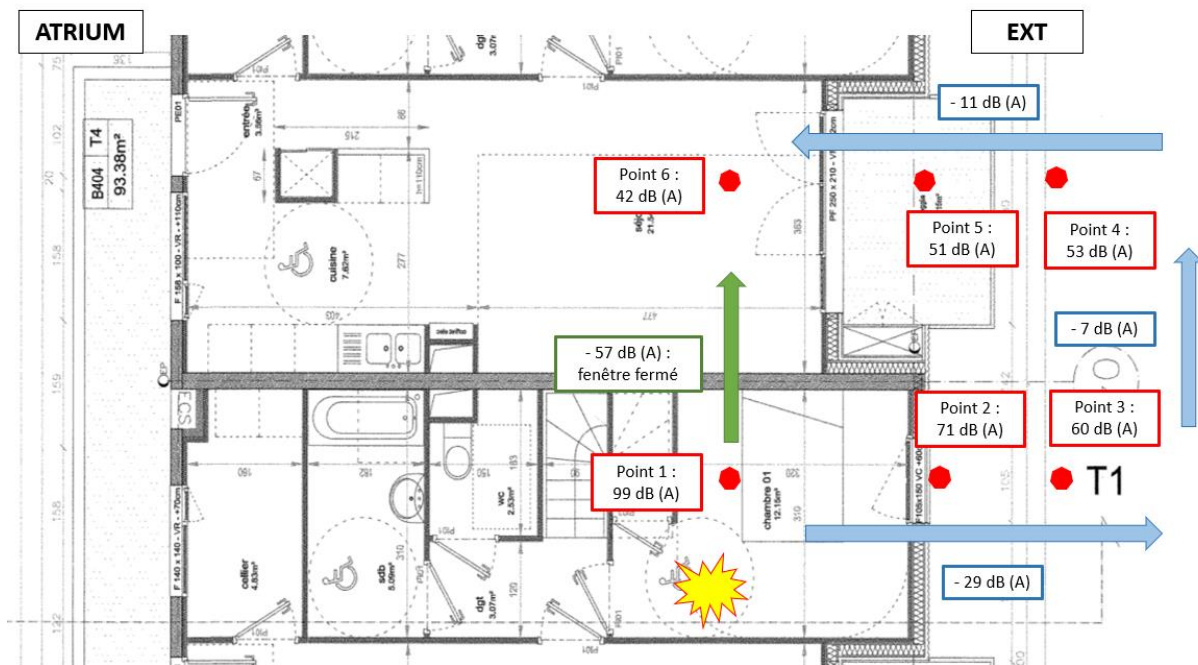
Numéro du point de mesure	1 Emission	2 0,2 m de la façade	3 2 m de la façade	4 2 m de la façade	5 0,2 m de la façade	6 Réception
Niveau sonore dB(A)	98	93	78	71	66	51
Isolement Brut (dB)		5	20	27	32	47
Décroissance entre chaque point (dB)		-5	-15	-7	-5	-15



Résultats des mesures : Configuration 1 -Locaux donnant sur l'extérieur fenêtre ouverte

Configuration 2 - Locaux donnant sur l'extérieur fenêtre fermée

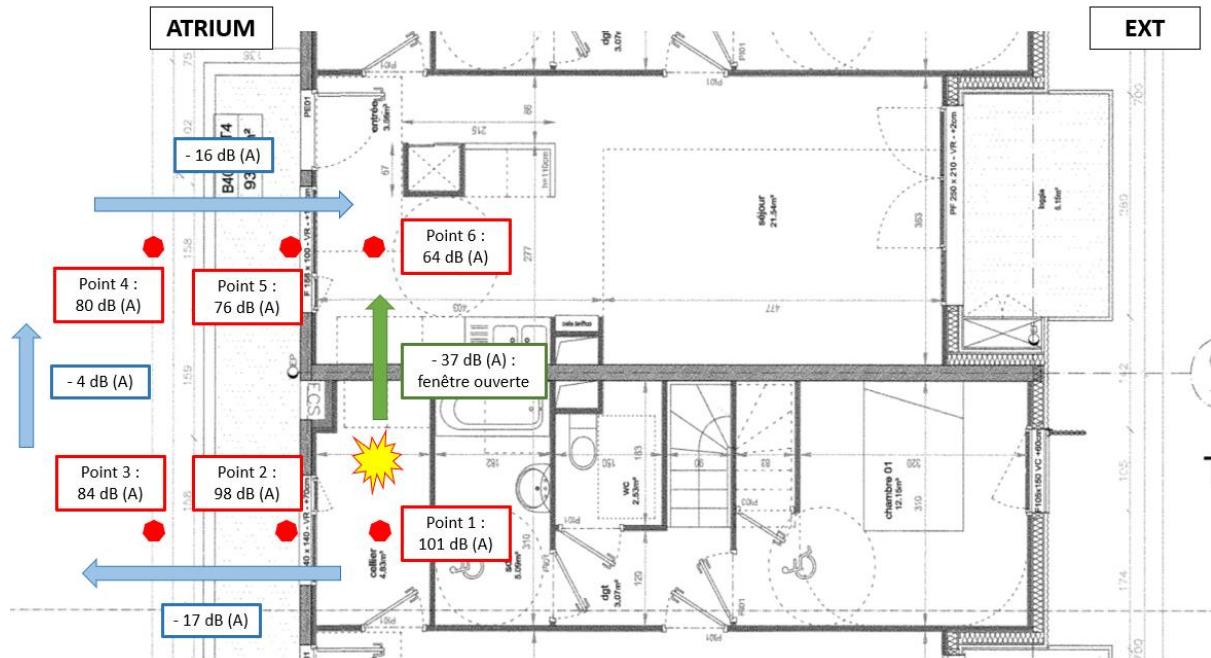
Numéro du point de mesure	1 Emission	2 0,2 m de la façade	3 2 m de la façade	4 2 m de la façade	5 0,2 m de la façade	6 Réception
Niveau sonore dB(A)	99	71	60	53	51	42
Isolement Brut (dB)		28	39	46	48	57
Décroissance entre chaque point (dB)		-28	-11	-7	-2	-11



Résultats des mesures : Configuration 2 - Locaux donnant sur l'extérieur fenêtre fermée

Configuration 3 - Locaux donnant sur l'atrium fenêtre ouverte

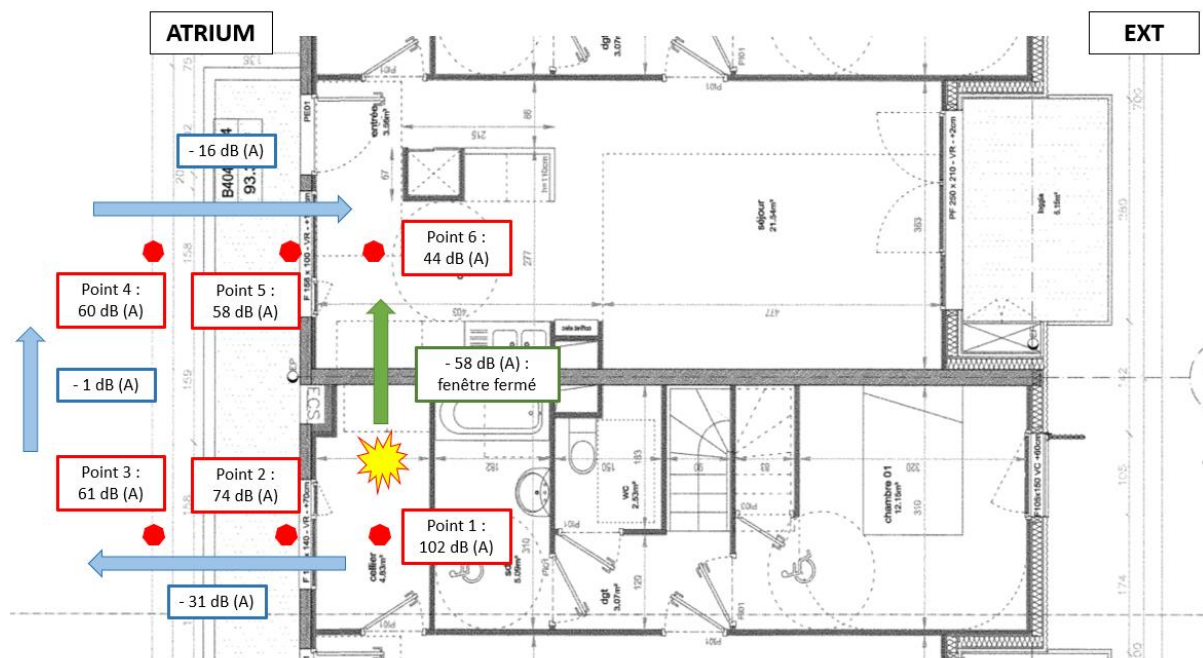
Numéro du point de mesure	1 Emission	2 0,2 m de la façade	3 2 m de la façade	4 2 m de la façade	5 0,2 m de la façade	6 Réception
Niveau sonore dB(A)	101	98	84	80	76	64
Isolement Brut (dB)		3	17	21	25	37
Décroissance entre chaque point (dB)		-3	-14	-4	-4	-12



Résultats des mesures : Configuration 3 - Locaux donnant sur l'atrium fenêtre ouverte

Configuration 4 - Locaux donnant sur l'atrium fenêtre fermée

Numéro du point de mesure	1 Emission	2 0,2 m de la façade	3 2 m de la façade	4 2 m de la façade	5 0,2 m de la façade	6 Réception
Niveau sonore dB(A)	102	74	61	60	58	44
Isolement Brut (dB)		28	39	42	44	58
Décroissance entre chaque point (dB)		-28	-13	-3	-2	-6



Résultats des mesures : Configuration 4 - Locaux donnant sur l'atrium fenêtre fermée

4.1.2 Commentaires et analyse des résultats

- Pour les deux locaux donnant sur l'extérieur, l'isolement brut entre les locaux « fenêtre ouverte » est de 47 dB (A) et l'isolement brut entre les locaux « fenêtre fermée » est de 57 dB (A),
- Pour les deux locaux donnant sur l'atrium, l'isolement brut entre les locaux « fenêtre ouverte » est de 37 dB (A) et l'isolement brut entre les locaux « fenêtre fermée » est de 58 dB (A),
- Lorsque les fenêtres sont fermées, l'isolement brut entre les locaux côté atrium et coté extérieur sont relativement équivalent.
- Les décroissances entre les locaux d'émissions et les points situés à 2 m de la façade face au local d'émission (*Points 3*) sont relativement proches (-31 dB fenêtre fermée côté Atrium et -29 dB coté extérieur, -17 dB fenêtre ouverte côté Atrium et -20 dB coté extérieur). Cependant, on note que :
 - ✓ La décroissance entre les *Points 3 et 4* (points situés à l'extérieur des locaux considérés, à 2 m de la façade) est comprise entre 1 et 4 dB(A) côté atrium,
 - ✓ La décroissance entre les points les *Points 3 et 4* (points situés à l'extérieur des locaux considérés, à 2 m de la façade) est de 7 dB(A) côté extérieur,
 - ✓ La décroissance du niveau entre les *Points 2 et 5* (points situés à l'extérieur des locaux considérés, à 0,2 m de la façade) est légèrement plus importante du côté extérieur (-27 dB fenêtre ouverte) que du côté de l'atrium (-22 dB)

Ces observations, synthétisées dans le tableau suivant, mettent en évidence une propagation du son plutôt favorable, c'est-à-dire une décroissance plus faible, du côté de l'atrium par rapport au côté extérieur.

Configuration	Locaux côté atrium		Locaux côté extérieur	
	Fenêtre Ouverte	Fenêtre Fermée	Fenêtre Ouverte	Fenêtre Fermée
Isolement Brut (dB)	37	58	47	57
Décroissance entre local d'émission et à 2 m de la façade (dB)	-17	-31	-20	-29
Décroissance à 2 m de la façade entre les logements (dB)	-4	-1	-7	-7
Décroissance entre les fenêtres logements (dB)	-22	-14	-27	-20

Par ailleurs, le niveau d'isolement fenêtre ouverte côté atrium, $D_b = 37$ dB, est relativement faible, et il ne permet pas une confidentialité satisfaisante entre les deux appartements. Cette à observation est à mettre en perspective avec les niveaux de bruit de résiduel relativement faible présentés dans la suite du document.

L'atrium ne semble pas avoir d'impact sur l'isolement brut lorsque les fenêtres sont fermées. Les résultats détaillés des mesures d'isolement acoustique standardisés D_{nTA} sont présentés en [Annexe 2](#).

Les valeurs mesurées respectent les seuils réglementaires : $D_{nTA} \geq 53$ dB .

- Entre le Cellier B403 et Séjour B404 : $D_{nTA} = 61$ dB
- Entre la Chambre B403 et Séjour : B404 : $D_{nTA} = 60$ dB

On notera que les mesures, dont les résultats sont supérieurs à la réglementation, ont été réalisées dans une configuration favorable liée aux contraintes de mesure sur site et de la disponibilité des habitants (volume du local de réception supérieur au volume du local d'émission).

Bien que le nombre de cas étudiés soit limités dans le cadre de cette étude (2), l'étude concernant l'opération « Eden Square » à Chantepie (rapport réf.1710004d-bm1) où 7 configurations (2 en extérieures et 5 dans la cour couverte) avaient été étudiées, montrent des tendances et des résultats similaires concernant la décroissance du son entre un local d'émission et un point situé à 2 m de la façade de la cour couverte lorsque la fenêtre est ouverte est de 17 dB pour le bâtiment Domofrance (Bordeaux) et de 16 dB en moyenne pour le bâtiment Eden Square (Chantepie)

4.2 Niveaux de bruit de chocs

Les résultats des mesures de niveau de bruit de choc L'_{nTw} sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les résultats détaillés sont présentés en [Annexe 3](#).

Local d'émission	Local de réception	Résultats L'_{nTw}	Objectifs Réglementaires
Séjour - A404	Séjour - A303	39	≤ 58 dB
Passerelle	Chambre 01 - C208	53	≤ 58 dB

Les objectifs réglementaires sont atteints. Lorsque les bruits de chocs sont émis sur la passerelle, les niveaux mesurés sont fortement influencés par la transmission aérienne du bruit par la fenêtre car les coursives n'ont pas de revêtement de sol. En effet, le béton brut présente une sonorité à la marche élevé (bruit rayonné dans l'environnement lorsque l'on marche sur un plancher).

Pour informations, les résultats de conformité du niveau de bruit de choc mesuré par le CEREMA (*Suivi évaluation de l'immeuble à cour ouverte - SNC BORDEAUX ACHARD - Version V 2.0 du 27/11/2017*) sont reportés ci-dessous.

Tableau de synthèse des résultats :

L'appréciation (C, CT, NC) est formulée sur la base de la comparaison des résultats aux valeurs cibles présentées au paragraphe 10.1 ci-dessus.

C = conforme à la valeur cible

CT = conforme à la valeur cible, avec une tolérance de 3 Db (ou de 2/10 pour les Tr)

NC = non-conforme à la valeur cible du projet (tolérance comprise)

	Saison	Nombre de mesures	C	CT	NC
Niveau de bruit de choc	Hiver	1	1	0	0
	Eté	2	2	0	0

Les mesures de niveau de bruit de chocs montrent que les objectifs réglementaires sont systématiquement atteints pour les configurations testées. Toutefois le rapport du CEREMA ne présente pas les valeurs obtenues.

4.3 Isolements aux bruits aériens vis-à-vis des bruits de l'atrium

Les résultats globaux des mesures d'isolement normalisé D_{nTa} entre l'atrium et les logements sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les résultats par bande de fréquences sont présentés en Annexe 4.

Local d'émission	Local de réception	Résultat $D_{nTa, tr}$	Objectif Réglementaire $D_{nTa, tr}$	Résultat D_{nTa}	Objectif du projet D_{nTa}
Atrium	Pièce principale – D103	30 dB	≥ 30 dB	31 dB	≥ 40 dB

L'objectif réglementaire d'isolement de façade $D_{nTa, tr}$ (30 dB) est atteint. Cependant, l'isolement de façade vis-à-vis de l'atrium D_{nTa} fait partie des points de dérogation à la réglementation acoustique accordés pour ce projet. En effet, selon que l'on considère cet espace comme extérieur ou intérieur, les exigences d'isolement réglementaire à appliquer passent de $D_{nTa, tr} \geq 30$ dB à $D_{nTa} \geq 40$ dB. Pour le cas étudié, le minimum de cette exigence n'est pas atteint.

Les exigences acoustiques vis-à-vis des bruits provenant de l'extérieur du logement sont les suivantes (*étude acoustique de conception de la phase DCE du 07/09/2011 - réf. H7624-2*) :

- $D_{nTa, tr} \geq 30$ dB dans le cas d'un espace extérieur (correspondant au minimum réglementaire de l'arrêté du 30 juin 1999 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation).
- $D_{nTa} \geq 40$ dB (pièces principales) ou 37 dB (cuisine ou salle d'eau) dans le cas où l'atrium est considéré comme une circulation intérieure au sens de l'arrêté et dans le cas où les locaux d'émission et de réception ne sont séparés que par une porte palière ou une porte palière et une porte de distribution.
- $D_{nTa} \geq 53$ dB (pièces principales) ou 50 dB (cuisine ou salle d'eau) dans le cas où l'atrium est considéré comme une circulation intérieure au sens de l'arrêté pour tous les autres cas (ex : 1 porte palière et 2 portes de distribution).

On notera que ce constat est cohérent avec les mesures effectuées par le CEREMA (*Suivi évaluation de l'immeuble à cour ouverte - SNC BORDEAUX ACHARD - Version V 2.0 du 27/11/2017*). Pour informations, les résultats de conformité sont reportés ci-dessous.

Tableau de synthèse des résultats :

L'appréciation (C, CT, NC) est formulée sur la base de la comparaison des résultats aux valeurs cibles présentées au paragraphe 10.1 ci-dessus.

C = conforme à la valeur cible

CT = conforme à la valeur cible, avec une tolérance de 3 Db (ou de 2/10 pour les Tr)

NC = non-conforme à la valeur cible du projet (tolérance comprise)

	Saison	Nombre de mesures	C	CT	NC
Isolement aux bruits aériens vis à vis de l'atrium	Hiver	1	0	0	1
	Été	2	1	0	1

Les non-conformité relevé par le CEREMA correspondent à des isolements mesurés $D_{nTa} = 31$ dB en hiver et $D_{nTa} = 35$ dB en été.

4.4 Durée de réverbération

Le contrôle de la durée de réverbération de l'atrium fait partie des points de dérogation à la réglementation acoustique accordé pour ce projet. Les objectifs fixés par la maîtrise d'œuvre en conception concernant l'atrium sont spécifiques (*étude acoustique de conception de la phase DCE du 07/09/2011 - réf. H7624-2*) :

- 3 s aux basses fréquences (125 Hz- 250 Hz)
- 2,5 s aux fréquences moyennes (500 Hz – 1 kHz)
- 2 s aux fréquences aiguës (2KkHz – 4kHz)

Les durées de réverbération sont mesurées dans l'atrium en différents couples de points émission/réception. Les résultats globaux (moyenne de 125 à 4000 Hz) des mesures sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les résultats détaillés et la localisation des points de mesures sont présentés en Annexe 5.

Bande de Fréquences (Hz)	Résultats Tr (s)	Objectifs Tr (s)
63	2,29	3
125	1.69 s	3
250	1.49 s	3
500	1.61s	2.5
1000	1.78 s	2.5
2000	1.78	2
4000	1.58	2

Les résultats montrent que les objectifs de durée de réverbération sont respectés dans l'atrium et que les matériaux absorbant prévus sont adaptés pour respecter les objectifs fixés en étude (bacs aciers métalliques perforés en sous face de toiture ayant un coefficient d'absorption acoustique $\alpha_w \geq 0,9$ et panneaux perforés ponctuels sur les garde-corps des coursives). Les valeurs restent acceptables au regard de volume de l'atrium.

4.5 Décroissance spatiale du niveau sonore

Les valeurs de décroissance globale du son par doublement de distances (**XX dB/DD**) présentées dans cette partie correspondent au coefficient directeur (pente) de la droite de régression calculée à partir d'un nuage de points tracé de la manière suivante :

- Sur l'axe des ordonnées :

$$y = Lp_{\text{mesuré au point le plus proche de la source}} - Lp_{\text{mesuré à une distance } d \text{ de la source}}$$

- Sur l'axe des abscisses :

$$x = \frac{\text{Log (distance du point de mesure)}}{\text{Log (2)}}$$

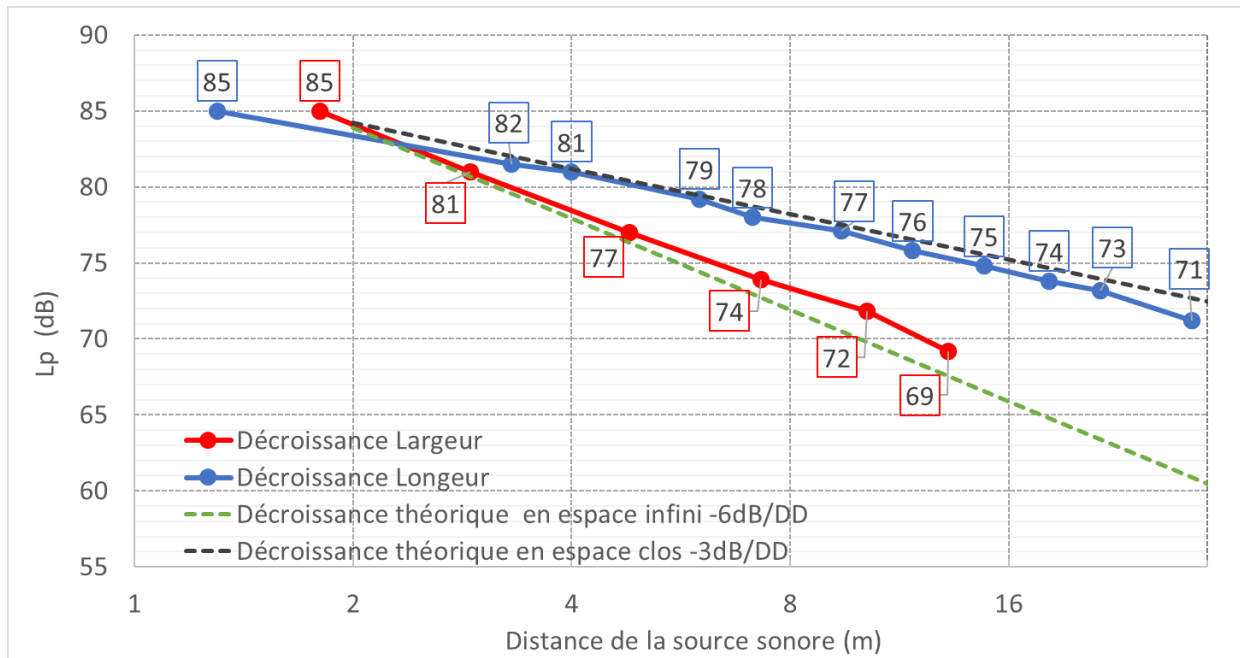
Pour chaque valeur globale de décroissance, les bornes correspondantes à la zone prise en compte est également indiquée en crochet, par exemple **3 dB/DD [2 m – 10 m]**.

4.5.1 Source sonore positionnée au sol dans l'atrium

La décroissance spatiale du niveau sonore est mesurée dans deux directions à l'intérieur de l'atrium. Pour ces mesures, une source hémisphérique est placée à l'intérieur de l'atrium et les niveaux sonores sont mesurés en différents points sur une ligne droite à une hauteur d'environ 1,5 m du sol.



Localisation des mesures de décroissance sonore spatiale dans l'atrium. En bleu, la décroissance suivant la longueur de l'atrium et en rouge la décroissance suivant la largeur



Décroissances sonore spatiale mesurée dans le sens de la largeur (en rouge) et de la longueur (en bleu)

La **décroissance 1- Longueur** présente un niveau de décroissance de **-3,1 dB/DD [1 m – 29 m]** et est stable en fonction de la distance à la source.

La **décroissance 2- Largeur** présente un niveau de décroissance de **-5,4 dB/DD [2 m – 13 m]**.

On constate que la propagation du son dans l'atrium n'est pas identique selon la direction considérée. Ce phénomène est probablement lié à la forme singulière très allongée de l'atrium. Dans le sens de la longueur, les réflexions des ondes acoustiques sur les façades des immeubles proches et faiblement traitées induisent des réflexions relativement fortes qui conduisent à un comportement de l'atrium proche d'un espace clos. Le traitement en plafond, relativement éloigné (entre 12 et 17 mètres), montre une certaine inefficacité pour la décroissance dans le sens de la longueur.

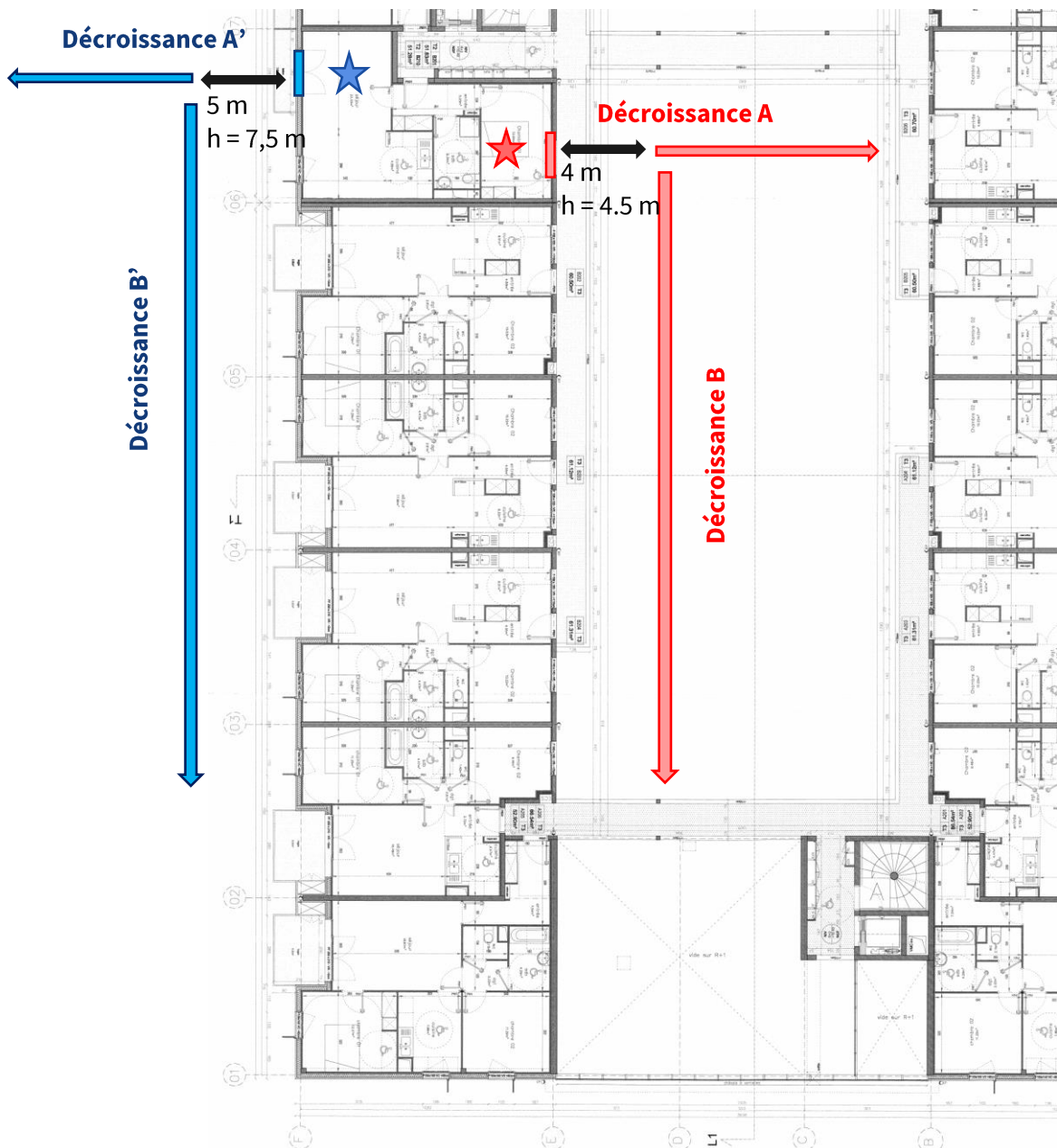
Dans le sens de largeur, les parois latérales au sens de la décroissance (Nord et Sud de l'atrium) sont très éloignées. Il n'y a donc pas de réflexions proches pour ces parois. Le plafond de l'atrium est fortement traité (bacs aciers métalliques perforés en sous face de toiture ayant un coefficient d'absorption acoustique $\alpha_w \geq 0,9$). Ces constatations induisent un comportement l'atrium proche d'un espace infini.

Ces valeurs de décroissance, nettement différentes, montrent que la géométrie et la localisation des traitements ont une influence non-négligeable sur la propagation du son dans le volume ou autrement dit que l'efficacité des traitements n'est pas homogène en fonction de la direction de propagation.

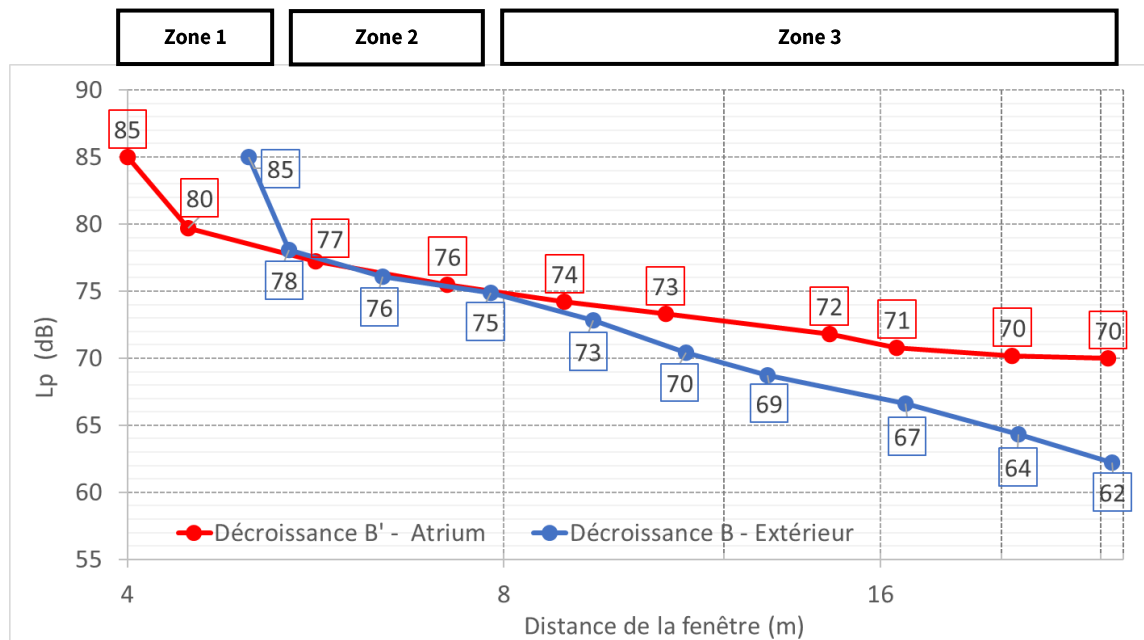
La géométrie allongée de l'atrium, avec peu de traitement sur les faces latérales, ne permet donc pas une décroissance forte dans l'atrium, bien que la durée de réverbération globale est relativement faible au regard du volume.

4.5.2 Décroissance spatiale à l'intérieur de l'atrium et à l'extérieur du bâtiment avec source sonore positionnée dans un logement

Des mesures de décroissance spatiale complémentaires ont également été réalisées dans deux directions à l'intérieur et à l'extérieur de l'atrium. Pour ces mesures, la source sonore est placée à l'intérieur d'une pièce d'un logement et les niveaux sonores sont mesurés perpendiculairement (**décroissance A et A'**) et parallèlement (**décroissance B et B'**) à 4 m de la façade du bâtiment et à environ 4,5 m de hauteur (R+2) côté atrium (**A et B**), et environ 7,5 m de hauteur (R+2) coté extérieur (**A' et B'**).



Localisation des mesures de décroissance sonore spatiale dans l'atrium et à l'extérieur du bâtiment avec la source de bruit placée dans un logement



Décroissances sonore spatiale mesurées le long de la façade à l'extérieur du bâtiment et à l'intérieur de l'atrium avec la source de bruit dans un logement

On distingue trois zones où les décroissances sonore spatiale ont des comportements singuliers :

Zone 1 : Pour les deux cas considérés, on observe une chute du niveau sonore entre les deux premiers points de mesures (entre 5 et 8 dB). En effet, le premier point de mesure se situe dans l'axe de la fenêtre et capte le son direct de la source sonore placée dans le local. Pour le second point et les suivants, la source sonore est masquée par la façade et on peut considérer que la fenêtre est assimilée à la source sonore.

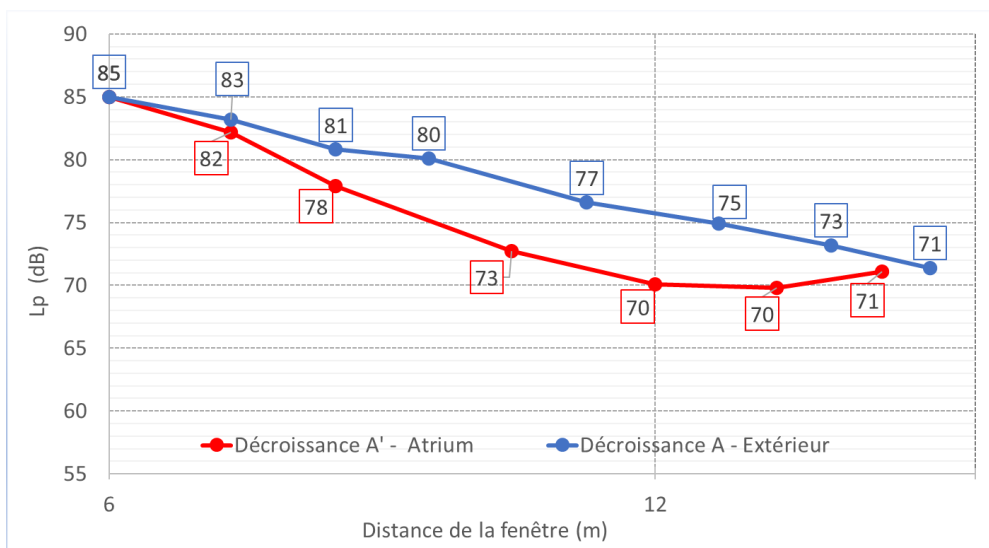
Zone 2 : Pour les deux cas considérés, les niveaux de décroissance sont équivalents. En effet, la **décroissance B'- Extérieur** présente un niveau de décroissance de **-5,9 dB/DD [5 m – 8 m]** et la **décroissance B – Intérieur** présente un niveau de décroissance de **-6,1 dB/DD [4 m – 7 m]**. Les niveaux de décroissance sont proches de la valeur de décroissance théorique en espace infini ce qui signifie que c'est le champ acoustique directe qui est prépondérant. Ces valeurs montrent que l'impact de l'atrium sur les premiers mètres de distance de propagation du son n'est pas significatif pour le cas étudié, c'est-à-dire à 4 m de distance de la façade.

On notera que cette observation n'est pas valable lorsque la source sonore est positionnée au sol (paragraphe précédent), probablement lié à la proximité du sol par rapport aux points de mesure (hauteur 1,5 m).

Zone 3 : Au-delà des 8 premiers mètres de décroissance, le comportement acoustique entre l'extérieur du bâtiment et l'atrium divergent. L'impact du champ réverbéré lié à l'atrium n'est alors plus négligeable et modifie la décroissance spatiale sonore.

La **décroissance B'- Extérieur** présente un niveau de décroissance de **-7,1 dB/DD [8 m – 25 m]**. Ce résultat est cohérent avec l'environnement extérieur dans lequel les mesures ont été effectuées (7,5 m de hauteur, pas de bâtiment de l'autre côté rue de la rue, condition de champs libre).

La **décroissance B – Intérieur** présente un niveau de décroissance de **-3,1 dB/DD [8 m – 25 m]**. Cette valeur est proche de la valeur de décroissance en espace clos et cohérente avec la mesure de décroissance effectué précédemment, c'est-à-dire que dans le sens de la longueur, la propagation sonore dans l'atrium est proche d'un espace clos. Par ailleurs, on observe une stabilisation du niveau à partir d'une distance de 20 m, caractéristique d'une situation où le point de mesures n'est plus influencé que par le champ réverbéré (en champ diffus).



Décroissances sonore spatiale mesurées perpendiculairement à la façade à l'extérieur du bâtiment et à l'intérieur de l'atrium avec la source de bruit dans un logement

La **décroissance A' - Extérieur** présente un niveau de **-9 dB/DD [6 m – 16 m]**. Ce résultat est cohérent avec l'environnement extérieur dans lequel les mesures ont été effectuées (7,5 m de hauteur, pas de bâtiment de l'autre côté rue de la rue, condition de champs libre). Il peut être noté la présence de balcons avec garde-corps en bardage métallique perforé.

La **décroissance A - Intérieur** à un comportement singulier et montre une décroissance importante **-15,5 dB/DD [6 m – 12 m]**. Cette valeur élevée est liée à la présence des coursives et balcons avec garde-corps pleins qui provoquent des effets de masques et influent sur la décroissance.

On observe une stabilisation du niveau à partir d'une distance de 12 m et même une légère élévation du niveau sonore sur le dernier point de mesure. Cette observation est cohérente avec les considérations physiques de propagation du son en espace clos, qui induisent une élévation du niveau sonore à proximité des parois, liée aux réflexions des ondes acoustiques sur cette dernière.

4.5.3 Analyse des résultats

Les mesures de décroissance spatiale réalisées à l'extérieur sont cohérentes avec l'environnement et proche de la valeur théorique en espace infini.

Dans l'atrium, on constate que la propagation sonore est différente selon l'axe considéré. La décroissance sonore par doublement de distance est nettement plus forte dans le sens de la largeur que dans le sens de la longueur.

En effet, les valeurs de décroissance mesurées à partir d'une source placée sur le sol ou à partir d'une source placée dans un logement, montrent que la géométrie et la localisation des traitements ont une influence non-négligeable sur la propagation du son dans le volume ou autrement dit que l'efficacité des traitements n'est pas homogène en fonction de la direction de propagation.

La géométrie allongée de l'atrium, avec peu de traitement sur les faces latérales, ne permet donc pas une décroissance forte dans l'atrium dans le sens de la longueur, bien que la durée de réverbération globale soit relativement faible au regard du volume.

La dérogation accordée au projet utilise le critère de durée de réverbération comme contrainte de la qualité de l'acoustique interne. Au regard des résultats obtenus, il semble pertinent d'indiquer en complément le critère concernant la décroissance spatiale sonore dans ce type d'espace. La valeur retenue devra être supérieure ou égale à 4 dB/doublement de distance.

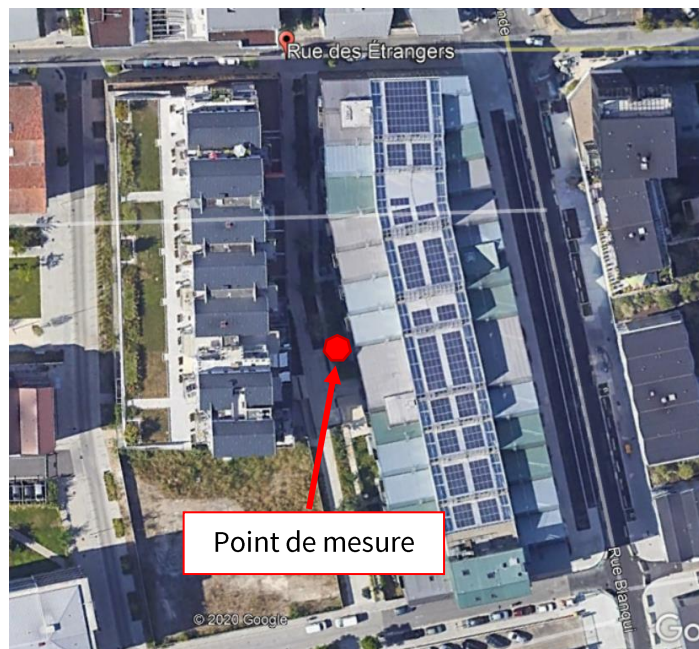
Ce dernier constat est cohérent avec les observations effectuées lors des mesures d'isolement fenêtre ouverte. En effet, la décroissance spatiale est plus faible dans l'atrium, le niveau sonore est donc plus important (à distance équivalente de la source) du côté de l'atrium que de l'extérieur.

En présence d'une cour couverte de ce type (atrium de forme allongé), un traitement acoustique renforcé sur les parois latérales pourrait permettre d'obtenir une décroissance spatiale plus proche d'un environnement extérieur. Cela permettrait de ne pas favoriser la propagation du son entre logement du côté de l'atrium.

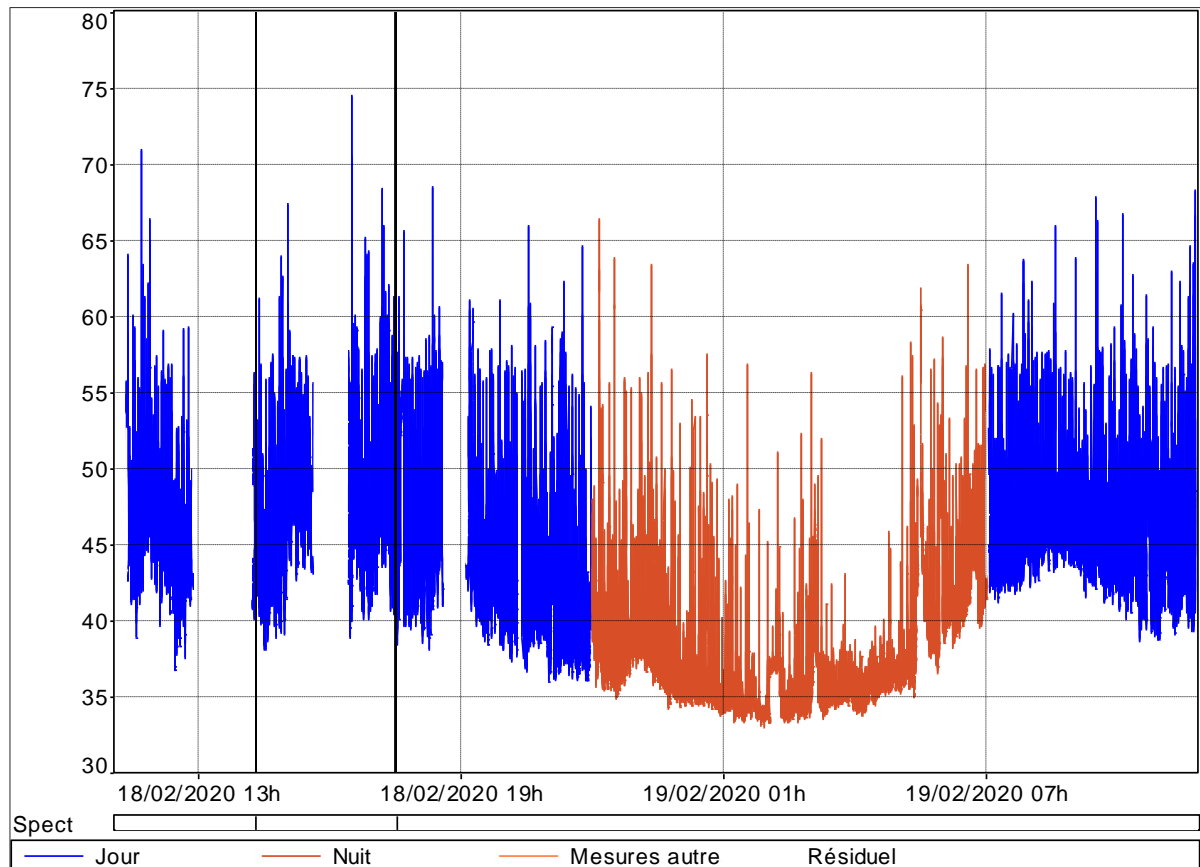
4.6 Niveaux de bruit résiduel

4.6.1 Extérieur du bâtiment

Le chronogramme ci-dessous représente l'évolution du niveau sonore résiduel global en dB(A) au cours de la période de mesurage sur site au point de mesure.



Localisation du point de mesure à l'extérieur du bâtiment



Chronogramme de la mesure du niveau de bruit résiduel à l'extérieur du bâtiment

Les parties du signal n'apparaissant pas sur le graphique correspondent aux périodes durant lesquelles des mesures acoustiques ont été réalisées par nos soins. Ces données ont été retirées des calculs statistiques car elles ne sont pas représentatives de l'environnement sonore habituel du lieu. De la même manière les périodes lors d'averse de pluie ont été retirées de l'analyse et font l'objet d'une analyse spécifique.

Les demi-heures les plus silencieuses sont :

- période diurne 7h-22h : le 19/02/2019 de 21h 27min 19s à 22h 27 min 19s,
- période nocturne 22h-7h : le 23/06/2017 de 1h 34min 19 s à 02h 04min 19s.

Les tableaux ci-après donnent les valeurs globales des niveaux continus équivalents L_{Aeq} ainsi que les indices statistiques L_{10} , L_{50} et L_{90} relevés au cours :

- de la totalité des périodes diurnes, nocturnes,
- des ½ h les plus silencieuses des périodes diurnes, nocturne.

Fichier	Dépouillement[1].CMG			
Lieu	Solo 065726			
Type de données	Leq			
Pondération	A			
Début	18/02/2020 11:07:19			
Fin	19/02/2020 11:47:33			
	Leq particulier	L90	L50	L10
Source	dB	dB	dB	dB
Jour	48,8	40,3	44,9	51,2
Nuit	40,9	34,1	36,2	42,7

Niveau sonore et indices statistiques globaux en dB(A) en fonction des différentes périodes considérées

Fichier	Dépouillement[1].CMG								
Début	19/02/2020 01:34:19								
Fin	19/02/2020 02:04:19								
Voie	Type	Pond.	Unité	Leq	Lmin	Lmax	L90	L50	L10
Solo 065726	Leq	A	dB	34,9	32,7	48,0	33,5	34,1	35,8

Niveau sonore et indices statistiques globaux en dB(A) de la demi-heure la plus calme de la période nocturne

Fichier	Dépouillement[1].CMG								
Début	18/02/2020 21:27:19								
Fin	18/02/2020 21:57:33								
Voie	Type	Pond.	Unité	Leq	Lmin	Lmax	L90	L50	L10
Solo 065726	Leq	A	dB	43,4	35,7	66,6	36,7	38,4	43,3

Niveau sonore et indices statistiques en dB(A) de la demi-heure la plus calme de la période diurne

Commentaire sur niveau de bruit résiduel

Les niveaux de bruit enregistrés à l'extérieur du bâtiment varient entre 51,2 dB(A) et 40,3 dB(A) en période diurne en fonction de l'indice statistique pris en compte et en excluant les niveaux max et min.

Si on applique la méthode d'analyse du résiduel décrite en Annexe 6, le niveau de bruit résiduel retenu correspond au L₉₀ de la période diurne ou nocturne soit environ 40,3 dB (A) le jour et 34,1 dB(A) la nuit.

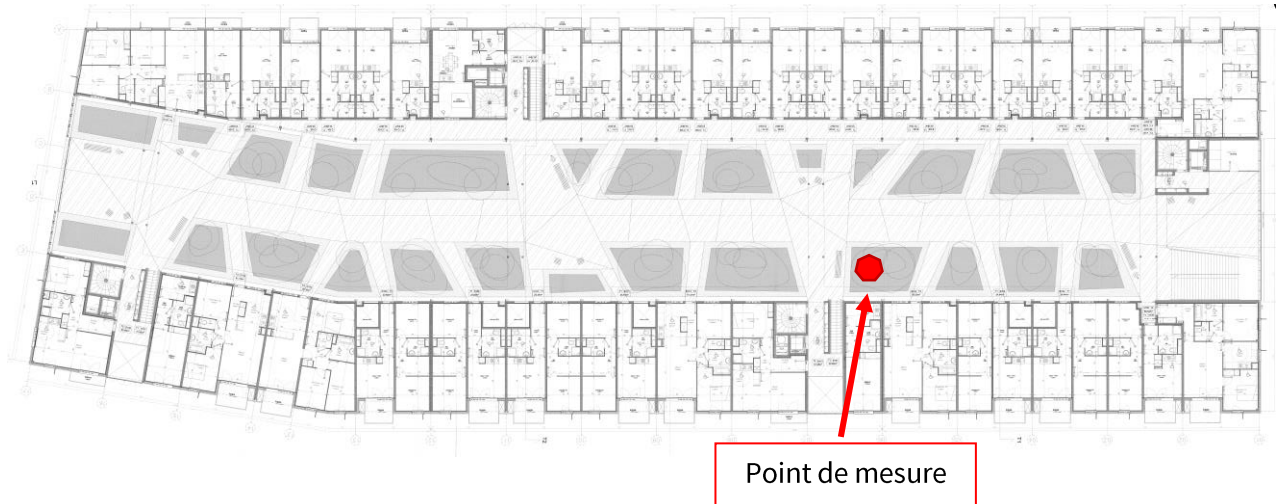
Les valeurs par bande de fréquence du L₉₀ sur la totalité de la période diurne et nocturne sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Fichier	Dépouillement[1].CMG	
Début	18/02/2020 11:07:19	
Fin	19/02/2020 11:47:33	
Source	Jour	Nuit
	L90	L90
Lieu	dB	dB
Solo 065726 [1/3 Oct 100Hz]	35,8	31,9
Solo 065726 [1/3 Oct 125Hz]	35,1	31,3
Solo 065726 [1/3 Oct 160Hz]	33,4	29,6
Solo 065726 [1/3 Oct 200Hz]	32,0	28,5
Solo 065726 [1/3 Oct 250Hz]	32,9	29,4
Solo 065726 [1/3 Oct 315Hz]	32,3	27,9
Solo 065726 [1/3 Oct 400Hz]	31,9	27,3
Solo 065726 [1/3 Oct 500Hz]	32,0	26,5
Solo 065726 [1/3 Oct 630Hz]	31,9	26,9
Solo 065726 [1/3 Oct 800Hz]	31,8	27,5
Solo 065726 [1/3 Oct 1 kHz]	31,0	25,1
Solo 065726 [1/3 Oct 1.25kHz]	29,2	21,9
Solo 065726 [1/3 Oct 1.6kHz]	28,0	19,9
Solo 065726 [1/3 Oct 2kHz]	26,3	17,1
Solo 065726 [1/3 Oct 2.5kHz]	24,0	14,1
Solo 065726 [1/3 Oct 3.15kHz]	21,2	11,3
Solo 065726 [1/3 Oct 4kHz]	18,7	10,4
Solo 065726 [1/3 Oct 5kHz]	15,0	8,5

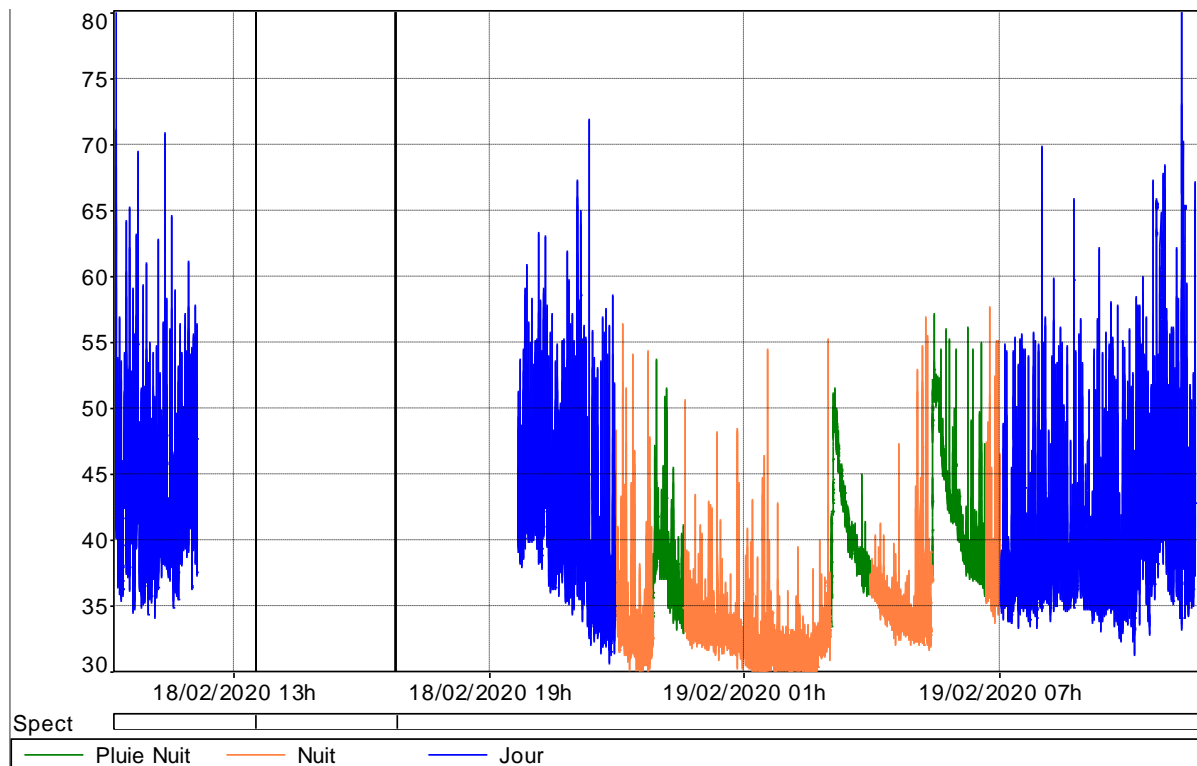
Valeurs par bande de fréquences du L₉₀ de la période diurne et nocturne (extérieur du bâtiment)

4.6.2 Intérieur de l'atrium

Le chronogramme ci-dessous représente l'évolution du niveau sonore global au cours de la période de mesurage sur site au point de mesure.



Localisation du point de mesure à l'intérieur de l'Atrium



Chronogramme de la mesure du niveau de bruit résiduel à l'intérieur du bâtiment

Les parties du signal retirées du graphique correspondent aux périodes durant lesquelles des mesures acoustiques ont été réalisées par nos soins et ou notre présence dans l'atrium a perturbé l'environnement sonore. Ces données ont été retirées des calculs statistiques car elles ne sont pas représentatives de l'environnement sonore habituel du lieu. De la même manière les périodes avec pluie (en vert) ont été retirées de l'analyse. Sur le chronogramme on distingue nettement les périodes où des précipitations ont eu lieu.

Les demi-heures les plus silencieuses sont :

- période diurne 7h-22h : le 19/02/2019 de 02h 08min 00s à 02h 38 min 00s
- période nocturne 22h-7h : le 23/06/2017 de 7h 00min 00 s à 07h 30 min 00s

Les tableaux ci-après donnent les valeurs globales des niveaux continus équivalents L_{Aeq} ainsi que les indices statistiques L_{10} , L_{50} et L_{90} relevés au cours :

- de la totalité des périodes diurnes, nocturnes,
- des ½ h les plus silencieuses des périodes diurnes, nocturne

Fichier	065116_200218_101424000_1.CMG			
Lieu	Solo 065116			
Type de données	Leq			
Pondération	A			
Début	19/02/2020 02:08:24			
Fin	20/02/2020 02:38:04			
	Leq particulier	L90	L50	L10
Source	dB	dB	dB	dB
Pluie Nuit	44,4	37,2	40,4	48,8
Nuit	36,6	31,1	33,9	37,1
Jour	51,4	35,2	38,4	46,9

Niveau sonore et indices statistiques globaux en dB(A) en fonction des différentes périodes considérées

Fichier	065116_200218_101424000_1.CMG								
Début	19/02/2020 02:08:24								
Fin	19/02/2020 02:38:04								
Voie	Type	Pond.	Unité	Leq	Lmin	Lmax	L90	L50	L10
Solo 065116	Leq	A	dB	31,5	27,0	40,3	29,7	31,3	32,7

Niveau sonore et indices statistiques statistique globaux en dB(A) de la demi-heure la plus calme de la période nocturne

Fichier	065116_200218_101424000_1.CMG								
Début	19/02/2020 07:00:24								
Fin	19/02/2020 07:30:04								
Voie	Type	Pond.	Unité	Leq	Lmin	Lmax	L90	L50	L10
Solo 065116	Leq	A	dB	39,9	33,0	58,3	34,8	36,6	40,7

Niveau sonore et indices statistiques statistique globaux en dB(A) de la demi-heure la plus calme de la période diurne

Commentaire sur niveau de bruit résiduel

Les niveaux de bruit enregistrés dans l'atrium varient entre 51,4 dB(A) et 35,2 dB(A) en période diurne en fonction de l'indice pris en compte.

Si on applique la méthode d'analyse du résiduel décrite en Annexe 6, le niveau de bruit résiduel retenu dans l'atrium correspond au L_{90} de la période diurne ou nocturne soit environ 35 dB (A) le jour et 31 dB(A) la nuit.

On notera que la pluie induit une augmentation d'environ 6 dB du niveau sonore à l'intérieur de l'atrium et jusqu'à 20 dB au plus fort de l'averse. Le niveau sonore décroît progressivement car le bruit d'écoulement sur la toiture et dans les évacuations d'eau continu de générer du bruit après l'arrêt de l'averse.

Les valeurs par bande de fréquences du L_{90} sur la totalité de la période diurne et nocturne sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Fichier	065116_200218_101424000_1.CMG	
Début	19/02/2020 02:08:24	
Fin	20/02/2020 02:38:04	
Source	Nuit	Jour
	L90	L90
Lieu	dB	dB
Sob 065116 [1/3 Oct 100Hz]	29,8	33,9
Sob 065116 [1/3 Oct 125Hz]	28,4	31,7
Sob 065116 [1/3 Oct 160Hz]	24,5	29,6
Sob 065116 [1/3 Oct 200Hz]	22,6	28,7
Sob 065116 [1/3 Oct 250Hz]	20,0	25,4
Sob 065116 [1/3 Oct 315Hz]	19,8	24,6
Sob 065116 [1/3 Oct 400Hz]	21,9	26,3
Sob 065116 [1/3 Oct 500Hz]	21,4	25,2
Sob 065116 [1/3 Oct 630Hz]	22,2	25,7
Sob 065116 [1/3 Oct 800Hz]	21,2	24,9
Sob 065116 [1/3 Oct 1kHz]	18,7	24,5
Sob 065116 [1/3 Oct 1.25kHz]	17,4	23,5
Sob 065116 [1/3 Oct 1.6kHz]	17,5	22,6
Sob 065116 [1/3 Oct 2kHz]	17,7	21,9
Sob 065116 [1/3 Oct 2.5kHz]	17,9	21,3
Sob 065116 [1/3 Oct 3.15kHz]	19,7	21,5
Sob 065116 [1/3 Oct 4kHz]	17,5	19,3
Sob 065116 [1/3 Oct 5kHz]	15,4	17,2

Valeurs par bande de fréquences du L90 de la période diurne et nocturne (intérieur du bâtiment)

4.6.3 Niveau de bruit résiduel à l'intérieur d'un logement

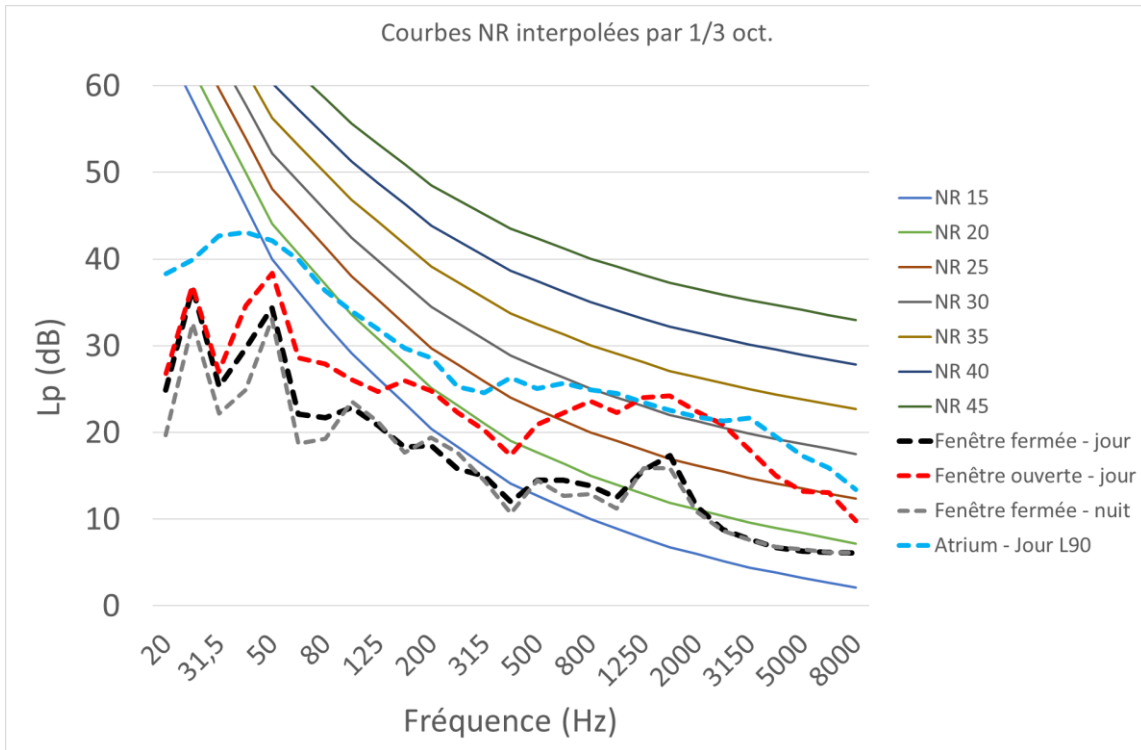
Un point de mesure a été placé à l'intérieur du logement C208, dans une chambre donnant sur l'atrium, durant 24H. Les niveaux sont fluctuants en fonction de l'activité des personnes au sein du logement. Trois périodes représentatives ont été sélectionnées afin de les comparer avec les niveaux de bruit mesurés dans l'atrium :

Les tableaux ci-après donnent les valeurs globales des niveaux continus équivalents L_{Aeq} ainsi que les indices statistiques L_{10} , L_{50} et L_{90} relevés au cours :

- D'une période de jour ou la fenêtre est ouverte (environ 1 h 20 min)
- D'une période de jour ou la fenêtre est fermée (environ 2 h 20 min)
- D'une période de nuit ou la fenêtre est fermée (environ 50 min)

Source	Leq particulier dB	L90 dB	L50 dB	L10 dB	Durée cumulée h:min:s
Jour fenêtre ouverte	41,0	35,4	38,4	41,3	01:23:26
Jour fenêtre fermée	32,0	25,3	29,3	35,1	02:21:14
Nuit fenêtre fermée	34,2	24,5	28,0	38,4	00:50:12

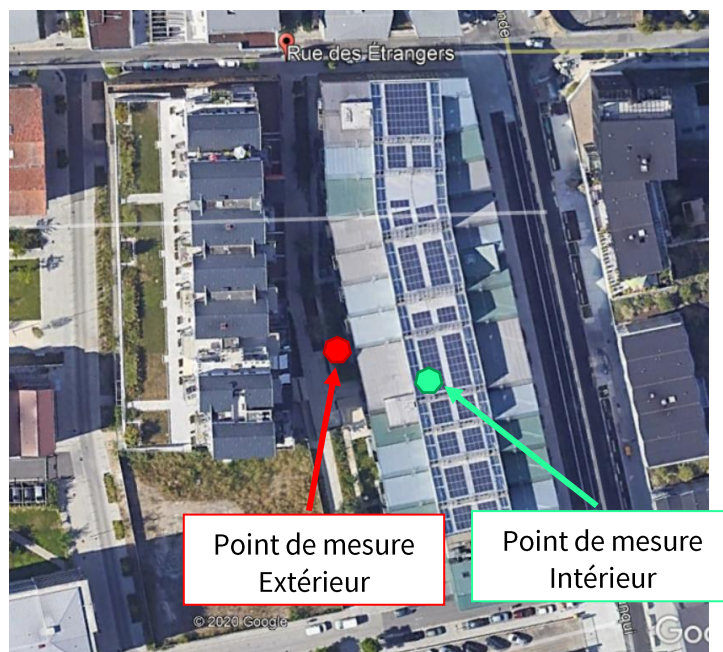
Les niveaux mesurés sont relativement faibles, même lorsque la fenêtre est ouverte. Les courbes ci-dessous représentent le niveau mesuré par bande de fréquences selon les périodes considérées. On constate que lorsque la fenêtre est fermée, de nuit comme de jour, les niveaux sont inférieurs à la courbe NR25 (**courbe noir et grise**), correspondant typiquement à niveau dans une chambre. Lorsque la fenêtre est ouverte le niveau sonore est inférieur à la courbe NR 35 (**courbe rouge**). Les mesures réalisées à l'intérieur du logement montrent des niveaux proches de ceux mesurés dans l'atrium lorsque la fenêtre est ouverte. En effet, le niveau dans l'atrium (**courbe bleu**) est inférieur à la courbe NR 35.



Mesures réalisées à l'intérieur du logement et dans l'atrium (L₉₀)

4.6.4 Comparaison et analyse des niveaux de bruit mesurés à l'extérieur et dans l'atrium

Les mesures de niveau de bruit ont été réalisées en deux endroits simultanément :



Localisation du point de mesure à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment

Les niveaux sonores relevés à l'extérieur sont représentatifs des niveaux rencontrés habituellement dans ce genre d'environnement (milieu urbain calme). On notera que les autres façades du bâtiment sont plus exposées aux bruits de la circulation et les niveaux sonore sont probablement plus importants sur les autres façades.

Les chronogrammes des mesures intérieures et extérieures ont des allures différentes. Les niveaux sonores relevés à l'intérieur de l'atrium montrent que les niveaux les plus faibles sont d'environ 35 dB(A) en période diurne et 30 dB (A) en période nocturne. Les événements sonores se produisant à l'intérieur de l'atrium provoquent des pics autour de 50 dB(A) avec des maximums compris entre 55 et 70 dB(A).

A l'extérieur de l'atrium le niveau sonore « plancher » est plus élevé. Il ne descend pas en dessous de 40 dB(A) en période de journée et est d'environ 35 dB(A) en période nocturne.

On constate que les averses de pluie génèrent des pics compris entre 50 et 55 dB(A) à l'intérieur de l'atrium. Ces augmentations significatives de niveaux sonore n'apparaissent pas de manière aussi significatives sur les mesures effectuées en extérieurs.

Le tableau ci-dessous reprend les niveaux mesurés sur les deux points de mesure pour les différentes périodes avec les indicateurs L_{Aeq} , L_{10} , L_{50} et L_{90} .

		L_{Aeq}	L_{90}	L_{50}	L_{10}
Période nocturne	Extérieur	40,9	34,1	36,2	42,7
	Atrium	36,6	31,1	33,9	37,1
Période diurne	Extérieur	48,8	40,3	44,9	51,2
	Atrium	51,4	35,2	38,4	46,9

En période de jour les niveaux à l'intérieur sont plus faibles qu'à l'extérieur (entre 5 et 8 dB) lorsqu'on regarde les indicateurs L_{50} ou L_{90} . A l'intérieur de l'atrium, l'écart important entre le niveau L_{10} et L_{90} (écart de 12dB(A)) est symptomatique des événements sonores ponctuels et sporadiques se produisant dans l'atrium.

En période nocturne, les niveaux sonores à l'intérieur de l'atrium sont également plus faibles qu'à l'extérieur. La présence d'événements sonores sporadiques est moindre, par conséquent les indices statistiques L_{50} et L_{90} sont visiblement moins influencés.

Le point de mesure extérieur étant situé dans un environnement calme (rue piétonne) on peut déduire que les écarts entre l'intérieur et l'extérieur serait plus important sur les autres façades impactées par le bruit de la circulation.

4.7 Evaluation du critère de rapport signal sur bruit dans l'atrium

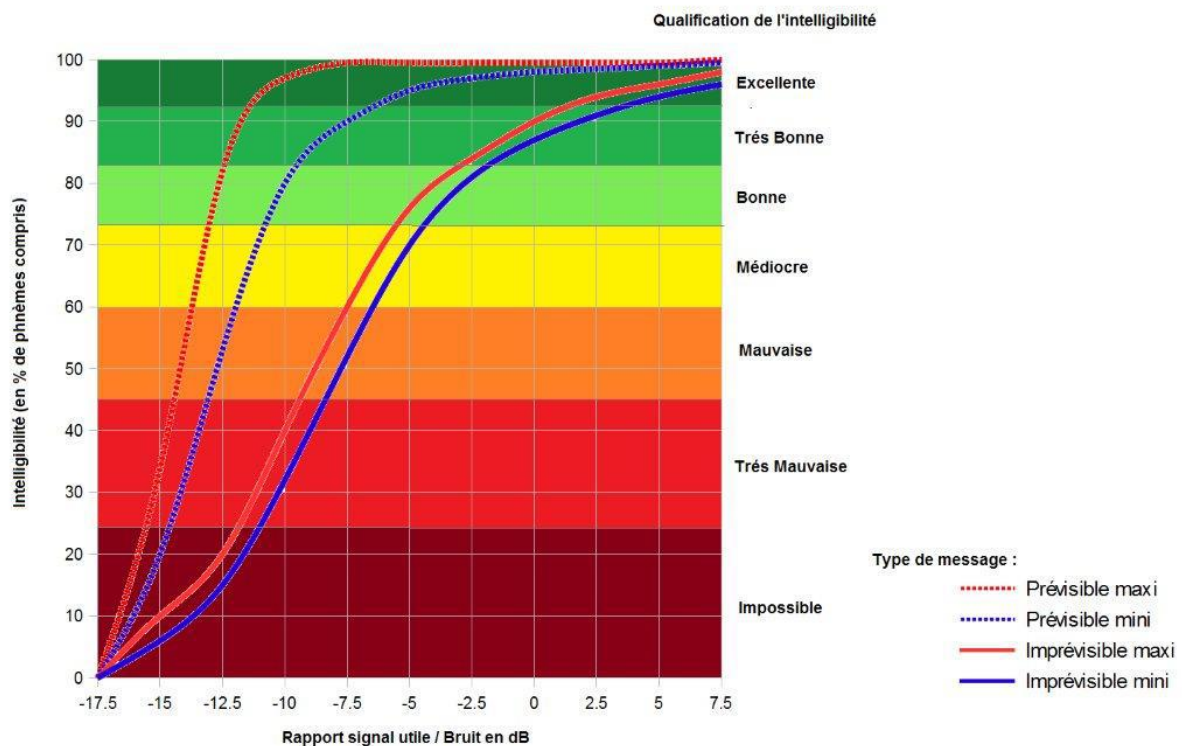
4.7.1 L'intelligibilité en fonction du rapport signal/bruit

L'intelligibilité peut être décrite ou varier en fonction du rapport signal sur bruit. Le bruit correspond ici au niveau de bruit dans l'atrium. Le signal correspond au niveau sonore généré par une personne, située dans une pièce de vie, fenêtre ouvert donnant sur l'atrium.

Le principe de l'appréciation d'une situation acoustique à partir du rapport signal sur bruit repose sur l'intelligibilité ou non du signal, dans le bruit ambiant (masquant). L'auditeur volontaire ou involontaire, comprend-il le sens de ce qui est dit par le ou les locuteurs voisins ? Ou, exprimé inversement, ce qui est dit est-il masqué et rendu incompréhensible par le bruit ambiant ?

Si le rapport signal sur bruit est positif le niveau sonore associé au signal est plus élevé que le niveau ambiant et par conséquent le signal est nettement perceptible. À contrario, si le niveau de bruit ambiant est plus important que celui du signal alors le rapport signal sur bruit devient négatif et l'intelligibilité du signal devient de plus en plus difficile.

Des expérimentations consistant à faire écouter des messages prévisibles ou imprévisibles, ont conduit à l'établissement de deux familles de courbes moyennes, représentées ci-dessous, donnant l'intelligibilité en fonction du rapport signal sur bruit.



Intelligibilité en fonction du rapport signal sur bruit

Pour que l'intimité des gens soit préservée vis-à-vis de l'atrium, il faut que le rapport signal sur bruit soit dégradé rapidement lors de la propagation d'un signal. Cela revient donc à jouer sur le niveau de bruit ambiant ou le niveau du signal.

Au vu de la figure présentée ci-dessus, il faut créer les conditions d'une intelligibilité mauvaise, soit, pour les cas de messages "prévisibles", limiter le rapport signal sur bruit à une valeur inférieure à -15 dB.

4.7.2 Analyse du rapport Signal/Bruit dans l'Atrium

Niveau du signal

Pour évaluer le niveau du « Signal » représentatif d'une discussion dans une pièce d'un logement donnant sur l'atrium, nous proposons de présenter deux situations distinctes :

- Une discussion à voix normale correspondant à un niveau sonore global de 65 dB(A) à 1 mètre.
- Une discussion à voix basse correspondant à un niveau sonore global de 50 dB(A) à 1 mètre.

Niveau de bruit ambiant dans l'atrium

Le niveau de bruit ambiant est dépendant de l'activité dans l'atrium. Les niveaux sonores mesurés sur 24 heures montrent de grandes variations. Pour la période de jour 7h-22h dans l'atrium, le niveau continu équivalent L_{Aeq} est de 51 dB(A) en valeur globale. Le niveau sonore dépassé 50% du temps L_{50} est de 38 dB(A) en valeur globale et de 35 dB(A) pour le L_{90} (dépassé 90% du temps).

Dans les scénarios étudiés nous choisirons soit :

- le niveau sonore à l'intérieur de l'atrium dépassé 90% du temps $L_{90} = 35$ dB(A),
- le niveau sonore à l'extérieur de la atrium dépassé 50% du temps $L_{50} = 45$ dB(A),

Problème acoustique : Signal / Bruit

Les mesures de diagnostic ont permis d'évaluer la décroissance entre une pièce et devant la coursive lorsque la fenêtre du logement est ouverte (environ -17dB). On notera que cette valeur est proche de celle déterminé dans l'étude précédente concernant l'opération « Eden Square » à Chantepie (rapport réf.1710004d-bm1 (16 dB en moyenne).

Ces mesures ont également mis en évidence que la décroissance du niveau sonore dans le sens de longueur de l'atrium est proche de celle d'un espace clos non traité. De plus les mesures de diagnostic montrent que le niveau sonore en face des deux fenêtres de logement adjacent sont proche (1 dB de différence). Cela implique que le niveau devant la fenêtre du locuteur est quasiment le même que celui devant la fenêtre de son voisin.

Les tableaux suivants montrent deux hypothèses de fonctionnement :

Signal de parole à 65 dB(A) : voix normale / Bruit ambiant dans l'atrium faible L_{90} à 35 dB(A)

Signal de la parole = Signal d'émission	Isolement brut en face de la fenêtre	Niveau calculé en face de la fenêtre ouverte dans l'atrium	Bruit ambiant en période diurne	Signal de la parole = Signal d'émission
65 dB(A)	17 dB(A)	48 dB(A)	35 dB(A)	13 dB(A)

Signal de parole à 50 dB(A) : voie faible / Bruit ambiant dans l'atrium faible L_{90} à 35 dB(A)

Signal de la parole = Signal d'émission	Isolement brut en face de la fenêtre	Niveau calculé en face de la fenêtre ouverte dans l'atrium	Bruit ambiant en période diurne L_{90} Atrium	Rapport signal sur Bruit
50 dB(A)	17 dB(A)	33 dB(A)	38 dB(A)	-5 dB(A)

Signal de parole à 50 dB(A) : voie faible / Bruit ambiant en extérieur relativement élevé L_{90} à 45 dB(A)

Signal de la parole = Signal d'émission	Isolement brut en face de la fenêtre	Niveau calculé en face de la fenêtre ouverte dans l'atrium	Bruit ambiant en période diurne L_{50} Extérieur	Rapport signal sur Bruit
50 dB(A)	17 dB(A)	33 dB(A)	45 dB(A)	-12 dB(A)

Commentaires :

Dans la première situation (voix normale/bruit faible) le rapport signal sur bruit devant la passerelle d'une fenêtre ouverte est supérieur à 13 dB. L'intelligibilité est qualifiée d'excellente.

Dans la deuxième situation (voix basse/bruit faible), le rapport signal sur bruit est négatif à -5 dB. L'intelligibilité est qualifiée de bonne. Ce résultat, loin de l'objectif de -15 dB montre qu'une discussion même à voix basse est audible sur la passerelle devant la fenêtre lorsque la fenêtre est ouverte.

Enfin, dans la dernière situation (voix basse/bruit moyen), le rapport signal sur bruit devient négatif (-12 dB). L'intelligibilité est alors qualifiée comme étant très mauvaise.

Si on s'éloigne de la fenêtre le rapport signal/bruit va décroître. Cependant, les mesures de diagnostic ont montré que le niveau ne décroît pas de manière significative dans le sens de la longueur de l'atrium.

Pour étudier plus précisément l'évolution du critère de rapport Signal/Bruit, une modélisation numérique de l'atrium est réalisée en y faisant varier le niveau de bruit de fond afin d'étudier les variations du rapport Signal/Bruit.

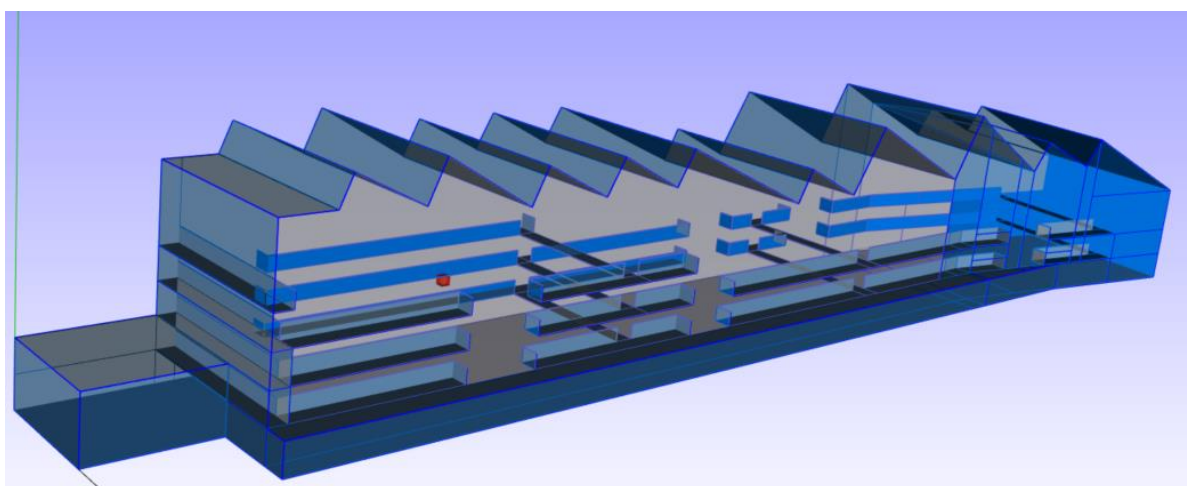
5 Modélisation de l'Atrium

5.1 Méthodologie

Afin d'étudier plus précisément la propagation sonore depuis un locuteur dans une pièce donnant sur l'atrium et l'évolution du niveau de bruit de fond sur le rapport signal sur bruit, une modélisation informatique a été réalisée à l'aide du logiciel AcousPropa® développé par le Groupe GAMBA.

Le but de cette modélisation est de déterminer les paramètres les plus favorables permettant une meilleure discrétion des conversations tenues dans les logements donnant sur l'atrium.

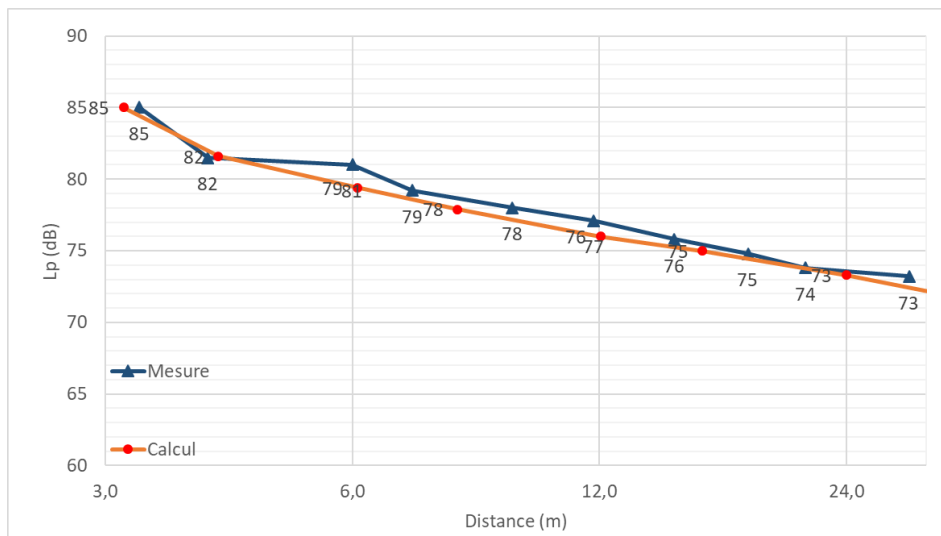
L'illustration suivante présente le modèle 3D utilisé pour les calculs :



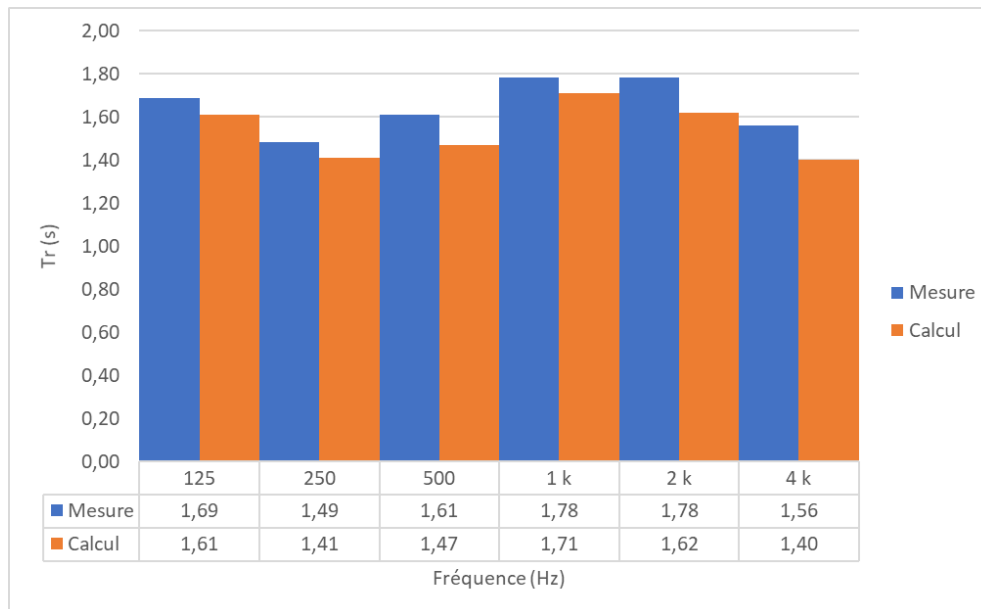
Modélisation 3D de l'atrium dans le logiciel AcousPropa®

5.2 Validité du modèle

Afin de garantir la fiabilité des résultats de calcul, une comparaison Calcul/Mesures est effectuée. Pour cela, les valeurs mesurées et calculées sont comparées (temps de réverbération et décroissance sonore spatiale).



Comparaison Calcul/Mesure de la décroissance sonore spatiale



Comparaison Calcul/Mesure du temps de réverbération

Au regard des résultats, on considère que le modèle est valide.

5.3 Hypothèses de calcul

5.3.1 Sources de bruit

Dans un local annexe (chambre d'un appartement), une source de bruit avec un spectre de « parole », représentant un locuteur dans une chambre a été positionnée de manière à rayonner dans l'atrium via une fenêtre ouverte et d'observer la propagation du son dans le volume.

Comme pour l'analyse du rapport Signal sur Bruit effectué à partir des valeurs expérimentales, deux niveaux de sources de bruit ont été testés :

- Source « parole normale » générant un niveau de 65 dB(A) à 1 mètre,
- Source « parole calme » générant un niveau de 50 dB(A) à 1 mètre.

5.3.2 Bruit de fond

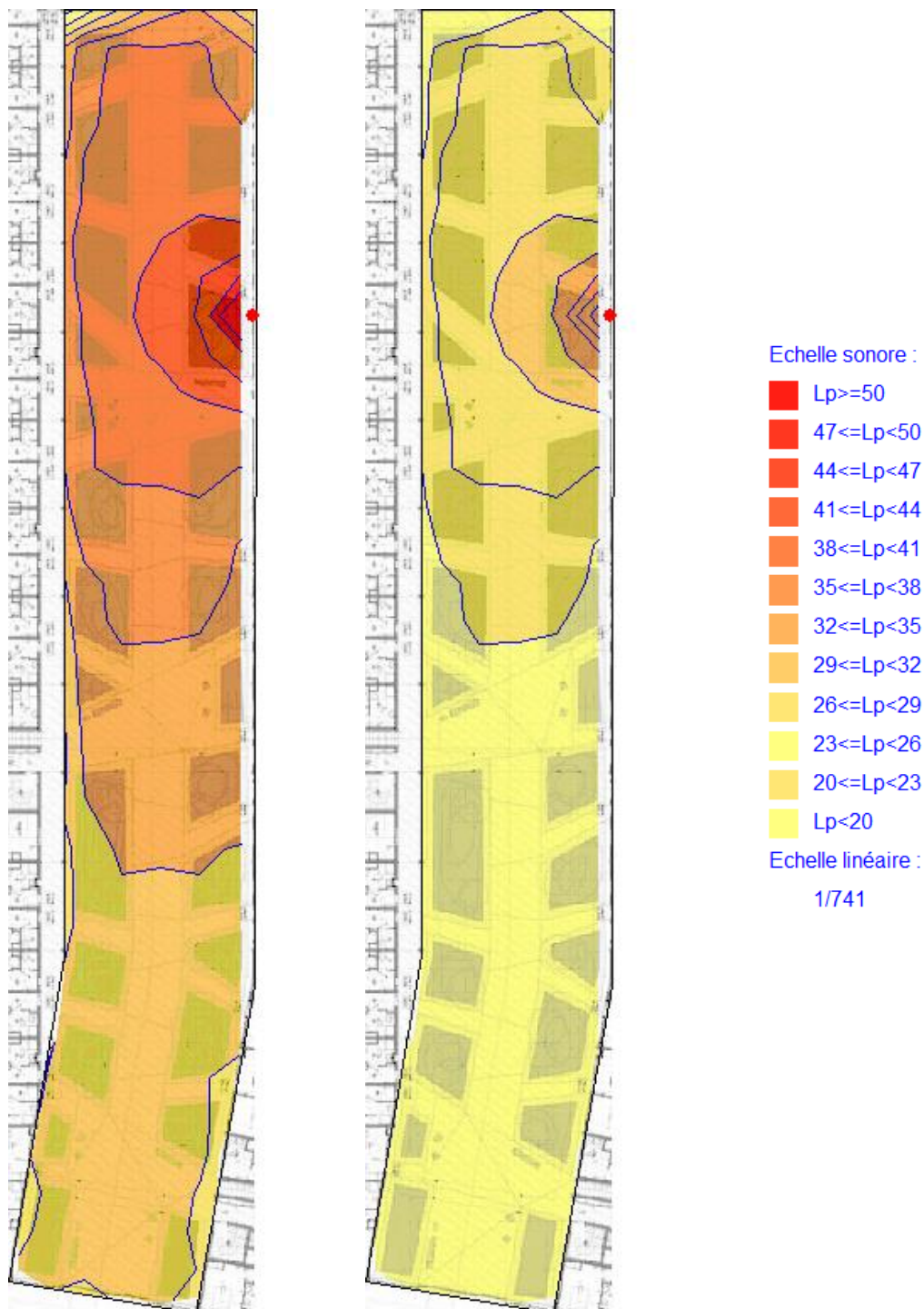
Deux hypothèses de bruit de fond dans l'atrium, basées sur les résultats des mesures ont été étudiées :

- Bruit de fond de 35 dB(A) correspondant au L_{A90} de la mesure de jour dans l'atrium ;
- Bruit de fond de 45 dB(A) correspondant au L_{A50} de la mesure de jour à l'extérieur.

5.4 Résultats des modélisations

5.4.1 Cartographie de la voie humaine dans l'atrium

Les illustrations ci-dessous présentent les résultats des cartographies de propagation sonore horizontale pour les sources de bruit « parole normale et calme » au niveau R+1. Ces cartes ne prennent en compte que la propagation sonore indépendante de chacune des sources et excluent tout autre bruit.



Cartographie dans l'atrium d'une source de « parole normale »

Cartographie dans l'atrium d'une source de « parole calme »

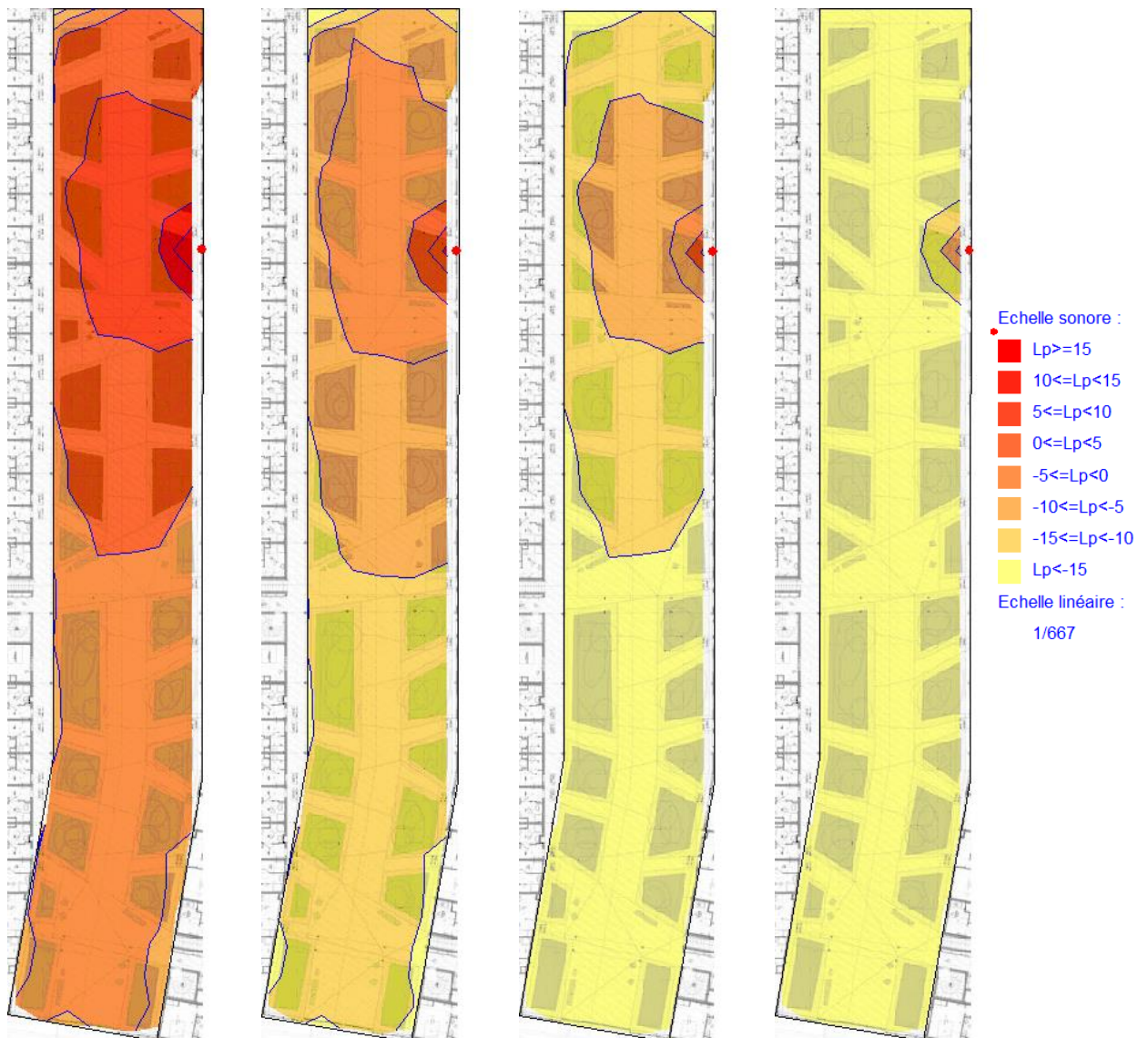
Sur les figures ci-dessus, on observe que le niveau sonore est proche du bruit de fond (couleur majoritaire en jaune) dès qu'on s'éloigne de quelque mètre de la façade lorsque la source est de type parole calme. Cependant, lorsque la source est considérée comme parole normale, la zone où la parole émerge du bruit de fond est nettement plus étendue.

Afin de corréliser cette observation avec l'intelligibilité de la parole et donc la discrétion des conversations, le rapport signal sur bruit noté S/B est étudié dans le paragraphe suivant

5.4.2 Analyse du rapport Signal/Bruit

Les cartographies de propagation sonore présentées précédemment sont ensuite utilisées pour calculer des cartographies de rapport signal/bruit avec comme hypothèses les niveaux de bruit de fond suivant :

- 35 dB(A) correspondant à la valeur mesurée dans l'atrium,
- 45 dB(A) correspondant à la valeur mesurée à l'extérieur du bâtiment.



Evaluation du rapport Signal/Bruit pour une source de type « parole normale » et un bruit de fond à 35 dB(A)

Evaluation du rapport Signal/Bruit pour une source de type « parole normale » et un bruit de fond à 45 dB(A)

Evaluation du rapport Signal/Bruit pour une source de type « parole calme » et un bruit de fond à 35 dB(A)

Evaluation du rapport Signal/Bruit pour une source de type « parole calme » et un bruit de fond à 45 dB(A)

En simplifiant l'analyse des cartographie présentées ci-dessus, on peut distinguer trois niveaux de valeur de rapport Signal/Bruit (S/B):

- le rapport Signal/Bruit est supérieur à -5 dB, l'intelligibilité est considérée comme étant comprise entre *Bonne et Excellente* (zones rouge),
- le rapport Signal/Bruit est compris entre -10 dB et -5 dB, l'intelligibilité est considérée comme étant comprise entre *Mauvaise et Médiocre* (zones orange),
- le rapport Signal/Bruit est inférieur à -10 dB, l'intelligibilité est considérée comme étant comprise entre *Très Mauvaise et Impossible* (zones jaune).

En considérant qu'une discrétion optimale de tout type de conversation (prévisible et imprévisible) est obtenue par un rapport signal sur bruit (S/B) inférieur ou égal = -15 dB, la figure ci-dessus illustre qu'avec un bruit de fond faible de 35 dB(A), une conversation dite « normale », 65 dB(A) à 1m à l'intérieur d'une chambre, est intelligible pour environ la moitié de l'atrium. Si avec le même niveau de source, le niveau de bruit de fond est augmenté à 45 dB (A), la même conversation est alors intelligible seulement dans un rayon d'environ 5 m.

Pour une source de « parole calme » générant 50 dB(A) à 1m à l'intérieur de la chambre et un bruit de fond faible à 35 dB(A), le niveau d'intelligibilité chute mais reste encore comprise entre *Bonne et Excellente* pour les logements à proximité. Avec un bruit de fond élevé à 45 dB(A), l'objectif de niveau d'inintelligibilité est atteint sur quasiment la totalité de la surface de l'atrium.

Au regard des résultats, un bruit de fond élevé dans l'atrium permettrait une discrétion acceptable ou optimale pour la majorité des cas de figure, en fonction du niveau sonore pris en compte. Cela reste un niveau relativement modéré et retrouvé communément en milieu urbain. Il est cependant non négligeable et audible. Par ailleurs, le niveau sonore de la voix des usagers a également un impact non négligeable et est directement corrélé avec le comportement du voisinage.

5.5 Mise en application

L'élévation du niveau de bruit de fond peut impliquer une certaine gêne auprès des habitants des logements habitués à un bruit ambiant faible. Il conviendrait de mettre en place un système qui puisse être perçu de manière agréable comme une fontaine, des hauts parleurs reproduisant des bruits de nature, etc...

Malgré ces précautions, l'augmentation du bruit de fond peut paraître une réponse simpliste à la problématique. La mise en œuvre de cette solution doit être étudiée et réglée in situ.

Comme cela est présenté dans la partie suivante du document, l'interdiction des enfants de jouer dans l'atrium et l'obligation d'utiliser des ballons en mousse à permis de supprimer une partie des situations où le niveau sonore est trop important dans l'atrium. Bien que cette méthode semble efficace, cela va également à l'encontre de l'enjeu social initialement imaginé pour un bâtiment de ce type.

Il est par ailleurs envisageable que le bruit de fond mis en place s'adapte au moment de la journée. En effet, on peut naturellement penser que les conversations à masquer soient plus modérées au milieu de la nuit n'impliquant plus la nécessité d'un bruit de fond aussi élevé. Ce niveau de masque pouvant potentiellement être perceptible pour les gens qui souhaiteraient garder leur fenêtre ouverte sur l'atrium.

A titre d'exemple, les niveaux mesurés lors d'averses de pluie peuvent permettre cette fonction de masquage sonore, cependant le niveau de bruit de fond dans l'atrium étant faible, l'émergence du bruit d'impact de la pluie pourrait éventuellement être considéré comme une gêne par certaines personnes.

6 Analyse des questionnaires

La compréhension de la qualité acoustique d'un espace implique l'analyse de la compréhension des habitudes, des gênes éventuelles des humains qui y habitent. Les données physiques du diagnostic acoustique ne nous ont pas permis d'accéder à ces informations. Aussi bien que cela ne fasse pas partie de notre mission d'origine, nous avons proposés un questionnaire d'appréciation des qualités acoustiques du bâti aux habitants. Ce questionnaire est basé sur une initiative du CINOV GIAC (Groupement de l'Ingénierie Acoustique), qui tend à être le plus exhaustif possible sur l'appréciation des qualités acoustique d'un logement.

Un exemplaire vierge de ce questionnaire est présenté en **Annexe 7**. Les résultats de ce questionnaire sont présentés par la suite.

6.1 Taille de l'échantillon d'analyse

Les analyses statistiques présentées par la suite sont basées sur 8 répondants correspondants à 8 logements différents. Ce chiffre est relativement faible en comparaison d'une analyse statistique quantitative idéale. Notre enquête questionnaire porte sur environ 7 % des logements de l'opération.

Comme précisé plus haut, cette analyse ne fait pas partie de la prestation initialement prévue, mais il nous a semblé intéressant d'utiliser cette méthode pour aller au-delà de l'analyse physique (mesure) et évaluer la donnée statistique qualitative qu'est la perception de l'environnement sonore par les personnes qui y habite.

Les personnes questionnées ont été prises au hasard et aucune personne (majeur) interrogée n'a refusé de répondre. Cependant, certaines personnes n'ont manifestement pas souhaité nous ouvrir leurs portes. En journée, le bâtiment était très peu occupé durant les horaires standard de travail.

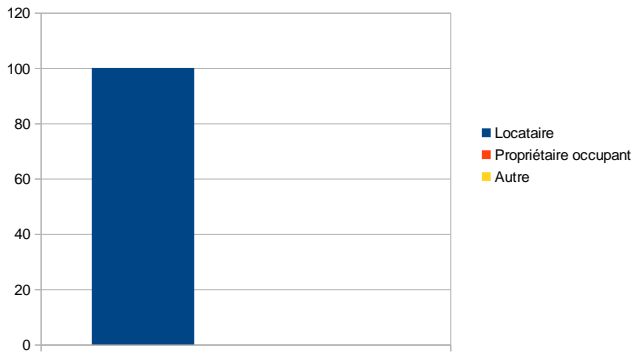
Les personnes interrogées nous ont fait part à plusieurs reprises de commentaires concernant d'autres sources d'inconfort tel que des dégradations, des comportements du voisinage, une problématique liée à l'ouverture des ventelles ainsi que le manque de convivialité entre voisin au sein du bâtiment.

6.2 Résultats

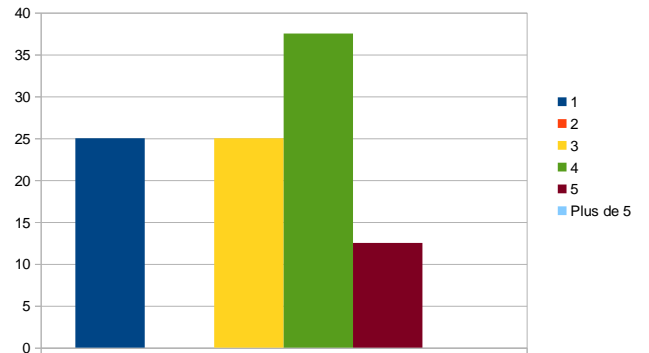
6.2.1 Typologie des répondants

Les tableaux suivants présentent les résultats de la compilation des questionnaires ainsi que les commentaires associés.

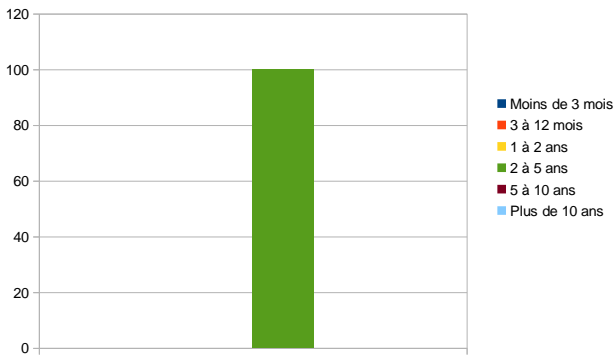
Etes vous locataire ou propriétaire ?



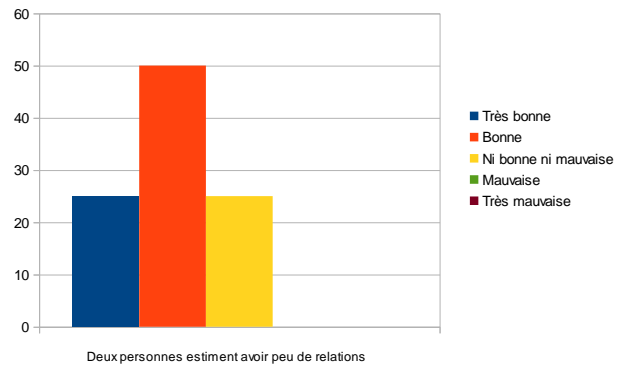
Combien de personnes composent votre foyer ?



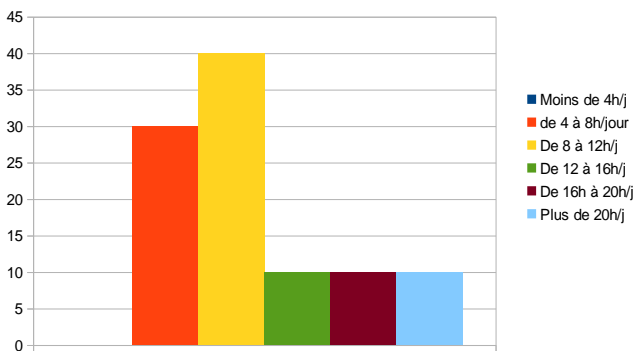
Depuis combien de temps occupez vous votre foyer ?



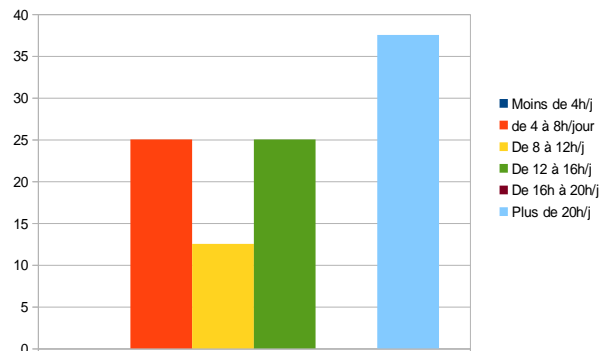
Comment estimez vous vos relations avec vos voisins ?



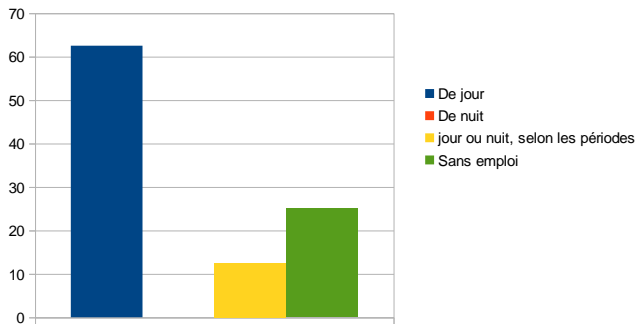
En semaine combien de temps passez vous dans votre logement en moyenne ?



Le week end combien de temps passez vous dans votre logement en moyenne ?



Avez vous un emploi de jour ou de nuit ?
Ou autre occupation en dehors du logement ?

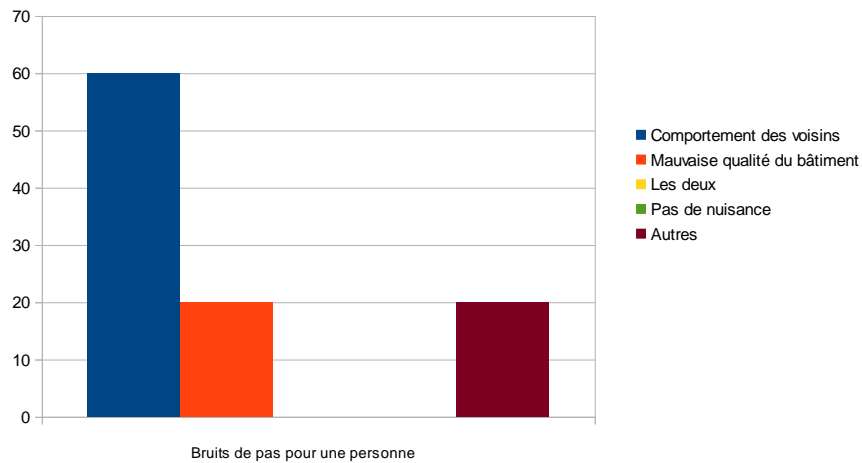


La typologie des répondants est majoritairement des locataires, vivant à plus 3 personnes dans le logement, depuis plusieurs années, s'entendant bien avec leurs voisins, travaillant à l'extérieur, et occupant leur appartement une grande partie du temps hors travail et hors transport.

6.2.2 Evaluation de la gêne sonore par les répondants

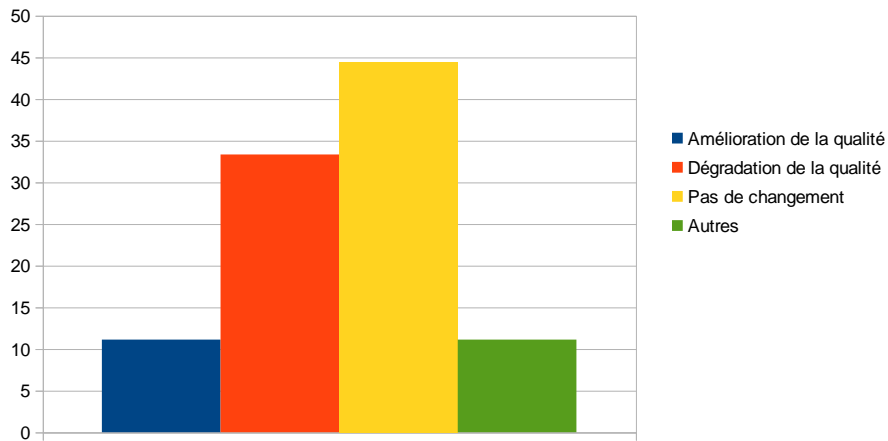
Si vous subissez des nuisances sonores, à quoi sont-elles dues d'après vous ?

Voisinage, qualité du bâtiment, autres,...



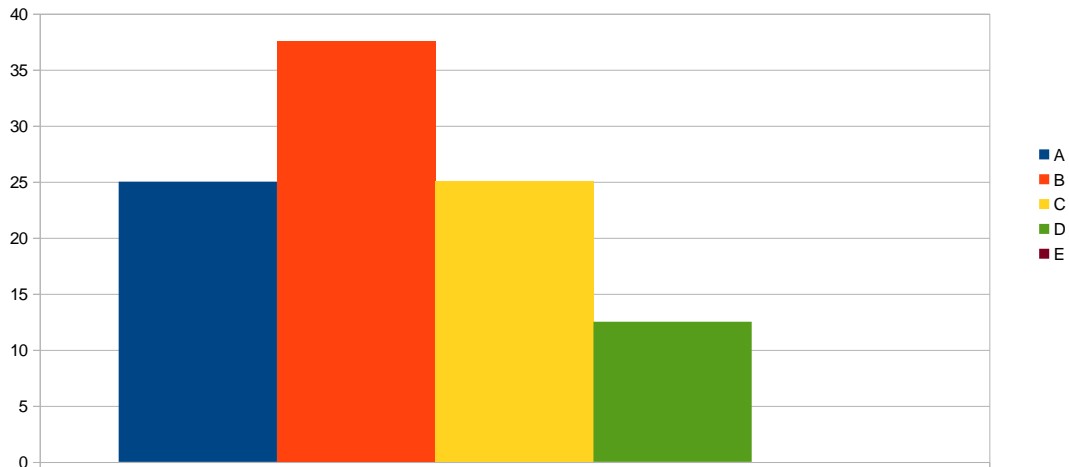
Avez vous constaté une évolution de la qualité acoustique dans l'immeuble ?

Suite à des travaux, modifications extérieures, changement d'occupant ?

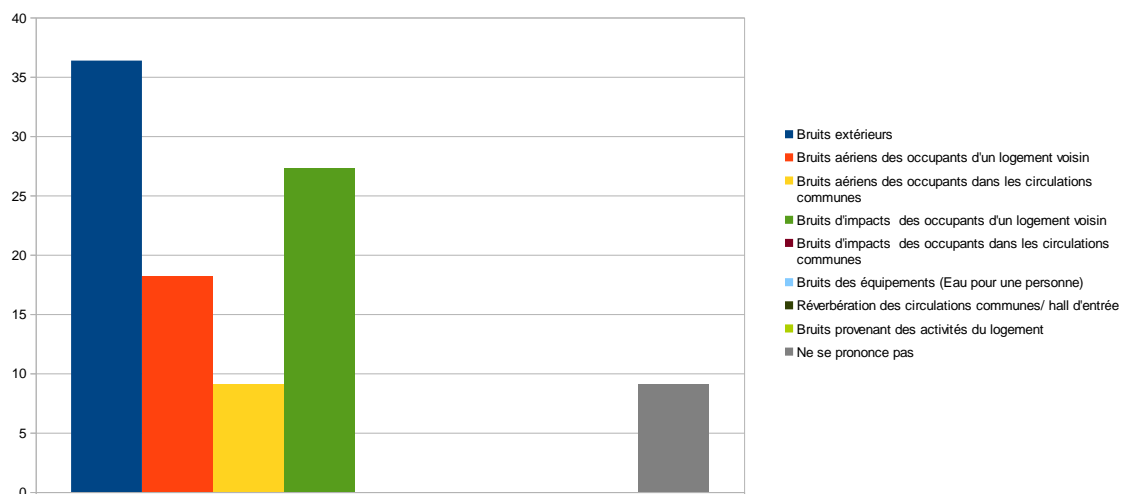


Si vous deviez noter la qualité acoustique de votre logement ?

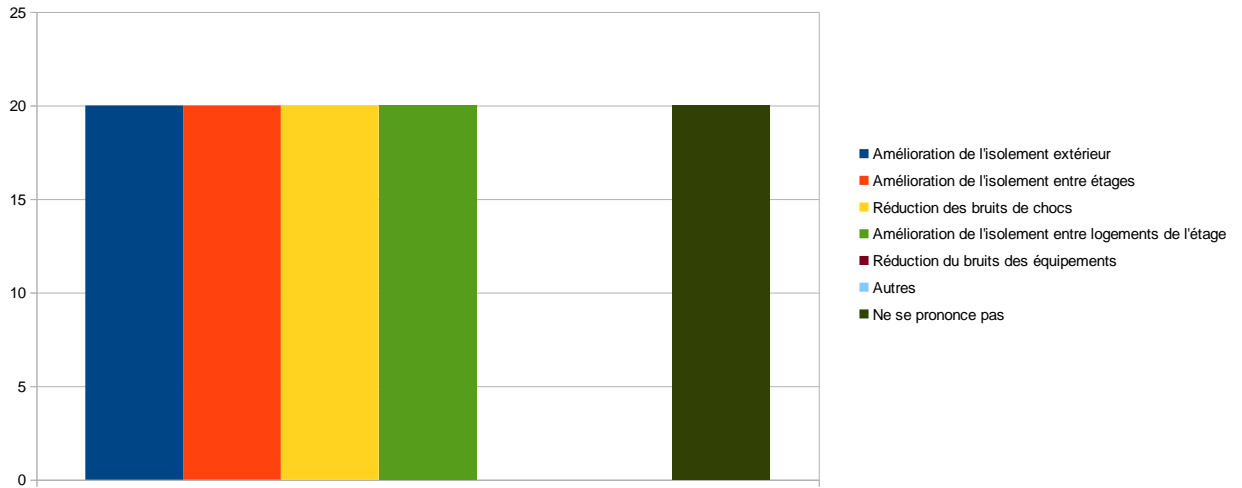
Entre A (très bonne) et E (très mauvaise)



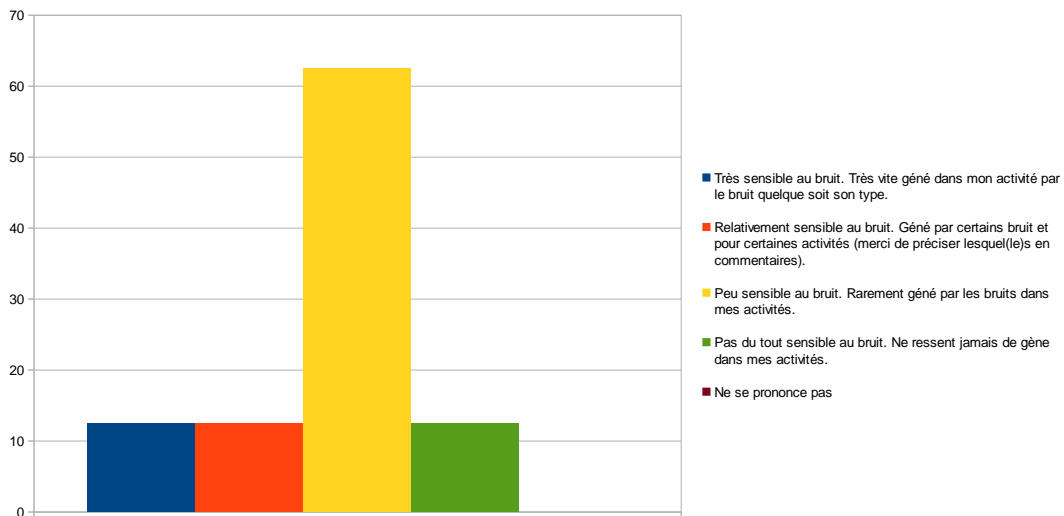
Si vous n'êtes pas satisfaits de la qualité acoustique de votre logement, quelles en sont les raisons ?



D'après vous que faut il faire pour améliorer la qualité acoustique de votre logement ?



D'une manière générale, comment situeriez vous votre sensibilité au bruit ?

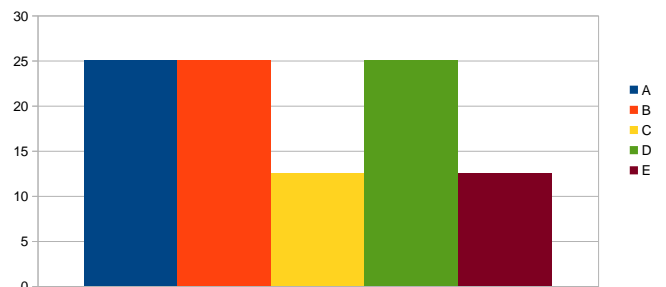
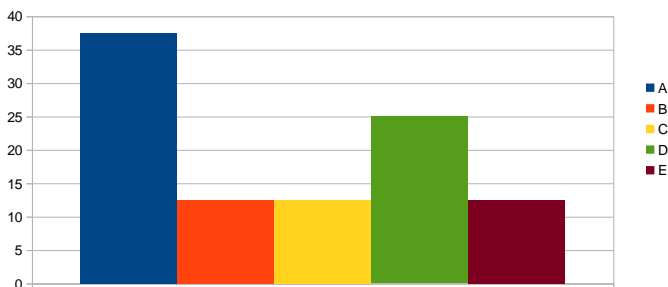


Entendez-vous du bruit ?
(de "A= pas de bruit à , "E= beaucoup de bruit")?

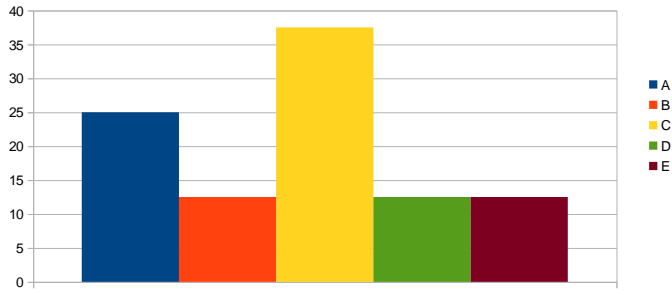
Êtes-vous gêné ?
(de "A= pas gêné" à "E= excessivement gêné")?

Entendez vous les bruits provenant de l'extérieur ?

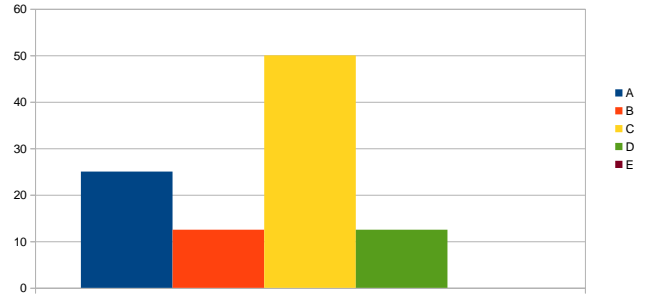
Etes vous gêné par les bruits provenant de l'extérieur ?



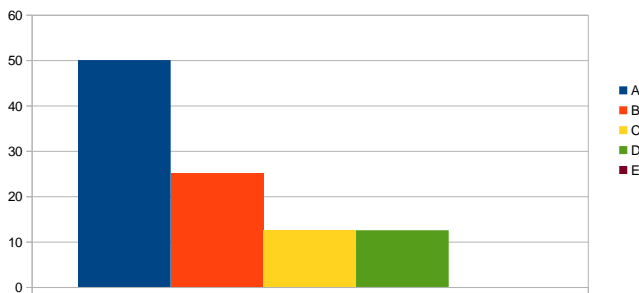
Entendez vous les bruits aériens provenant des autres logements ?



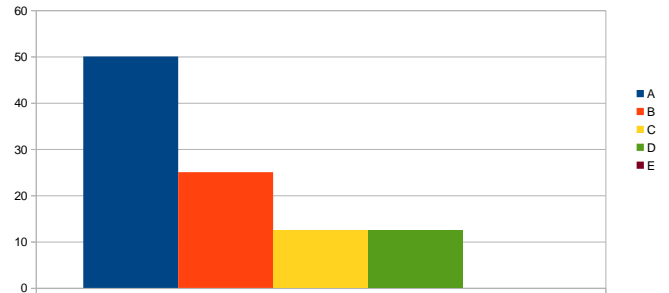
Etes vous gêné par les bruits aériens provenant des autres logements ?



Entendez vous les bruits aériens provenant des circulations communes ?

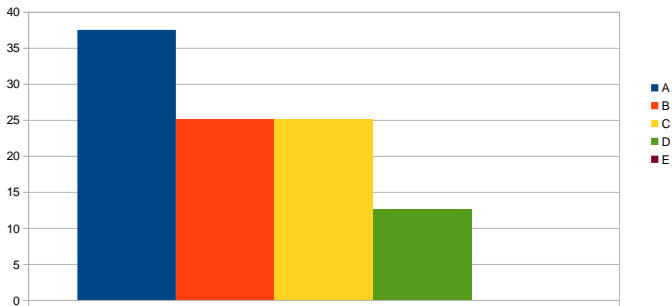


Etes vous gêné par les bruits aériens provenant des circulations communes ?



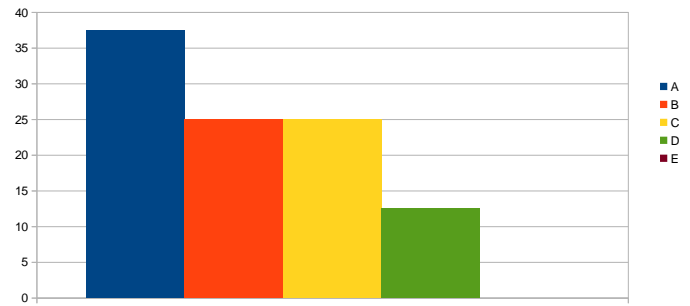
Entendez vous les bruits aériens provenant des autres locaux ?

Commerces, parkings, garages,...

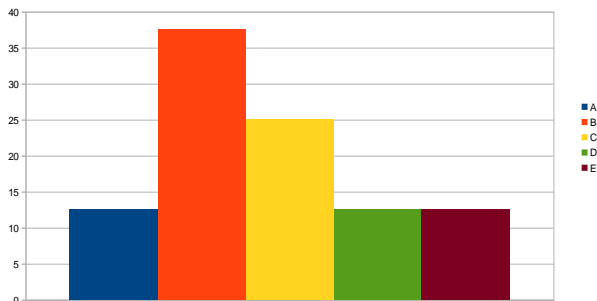


Etes vous gêné par les bruits aériens provenant d'autres locaux ?

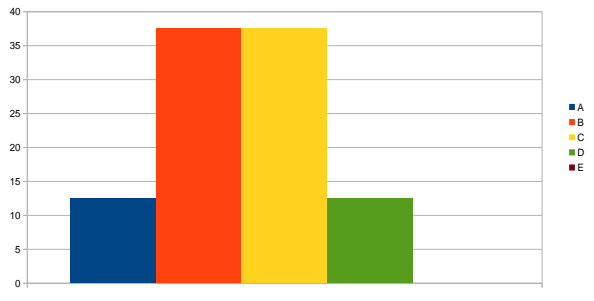
Commerces, parkings, garages,...



Entendez vous les bruits de pas, de chocs, de chutes d'objets, de roulements en provenance d'autres logements ?

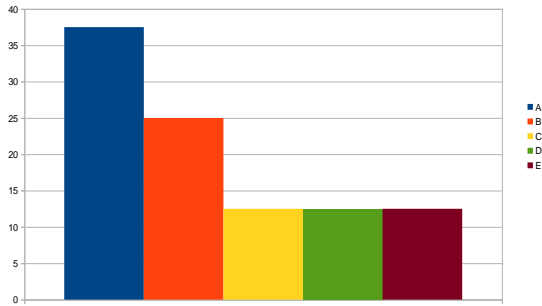


Etes vous gêné par les bruits de pas, de chocs, de chutes d'objets, de roulements provenant d'autres logements ?

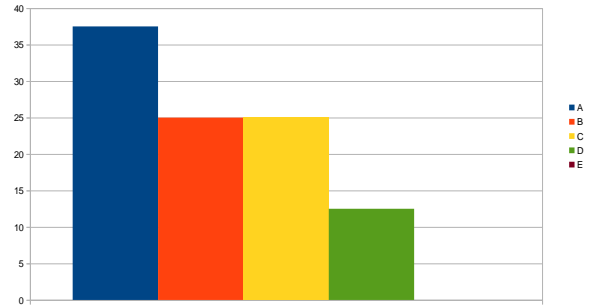


Pour une personne ça varie entre jour et nuit (C jour et D nuit)

Entendez vous les bruits de pas, de chocs, de chutes d'objets, de roulements provenant des circulations communes ?

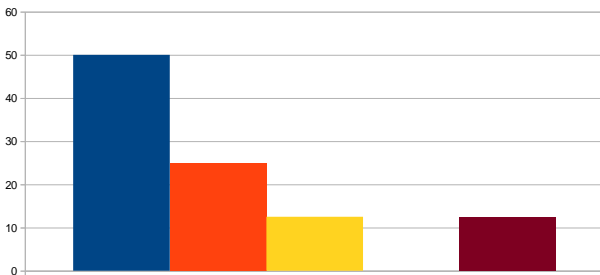


Etes vous gêné par les bruits de pas, de chocs, de chutes d'objets, de roulements provenant des circulations communes ?



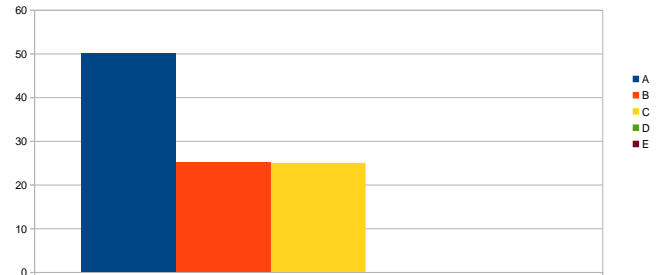
Entendez vous les bruits de pas, de chocs, de chutes d'objets, de roulements provenant d'autres locaux ?

Commerces, parkings, garages,...

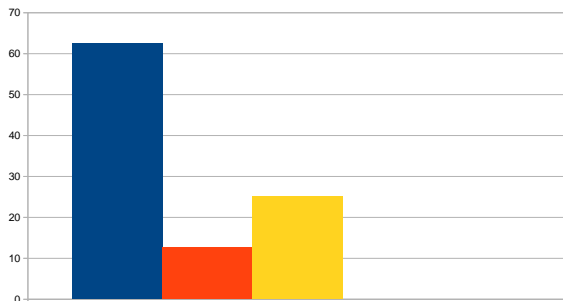


Etes vous gêné par les bruits de pas, de chocs, de chutes d'objets, de roulements provenant d'autres locaux ?

Commerces, parkings, garages,...

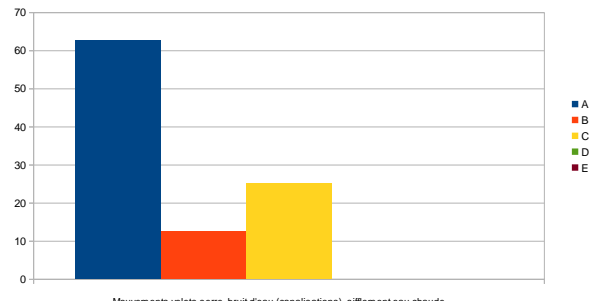


Entendez vous les bruits provenant des équipements techniques du bâtiment ?



Etes vous gêné par les bruits provenant des équipements techniques du bâtiment ?

Mouvements volets serré, bruit d'eau (canalisations), sifflement eau chaude



Les répondants sont majoritairement peu gênés par le bruit, et considèrent la qualité acoustique de leur logement globalement "bonne à très bonne". Par ailleurs, plus de la moitié se déclarent peu sensibles au bruit. Lorsqu'ils sont gênés par le bruit, une majorité des personnes met en cause le comportement des voisins plutôt qu'un défaut lié au bâtiment.

Quand on rentre un peu plus dans le détail, on constate que certains les bruits extérieurs (travaux, la circulation, enfant qui joue ...) ainsi que les bruits de chocs entre logement sont le plus régulièrement cités comme étant gênant.

Concernant spécifiquement l'atrium et les coursives (questionnement à l'origine des investigations) :

- les bruits aériens et solidiens en provenance des coursives sont estimés comme peu gênants,
- la réverbération de l'atrium n'est jamais mentionnée comme posant problème,
- par contre certains bruits (enfants qui jouent) sont dénoncés, et des interdictions ont dû être mis en place par le passé.

6.3 Conclusion sur l'analyse des questionnaires

Les personnes questionnées semblent relativement satisfaites de la qualité acoustique de leurs logements. Il semble donc que la dérogation accordée, ne pose pas de problèmes importants, dès lors que les exigences associées (isolement de façade par rapport à l'atrium, durée de réverbération dans l'atrium) sont respectées.

Par rapport à l'atrium, l'enquête montre que les bruits aériens et solidiens en provenance des coursives sont considérés comme peu gênants. Il faut mettre cette analyse en perspective avec le fait que les enfants ont été interdits de jouer dans l'atrium suite à nombreuses plaintes, notamment liées aux jeux de ballons (les ballons en mousse sont apparemment autorisés).

Par rapport à l'isolement entre logements, il ressort quelques problèmes ponctuels concernant des bruits de chocs. Même si tous les cas n'ont pas pu être vérifiés par la mesure, cela ne semble pas relever d'un défaut de conception généralisé au regard des résultats de mesure de niveau de bruit de choc. Les niveaux de bruit de choc ne sont pas concernés par les contraintes acoustiques supplémentaires imposées dans la dérogation à la réglementation acoustique spécifique à ce projet et sont plutôt représentatifs d'une valeur seuil de la réglementation pas toujours adaptée et régulièrement citée comme étant insuffisante en termes de confort pour les logements.

7 Conclusion

Ce rapport présente les résultats des investigations réalisées concernant l'opération de construction de 149 logements sur l'Îlot Etranger/Blanqui/Achard, livrée en 2015 et sous la gestion de Domofrance dans la métropole bordelaise (Bassins à flot, Bacalan). Pour rappel, cette opération a bénéficié d'adaptation à la réglementation acoustique du fait de son architecture particulière consistant à l'implantation d'un atrium dans la partie centrale du bâtiment.

Le CEREMA avait déjà réalisé des mesures acoustiques qui sont récapitulés dans un rapport : *Suivi évaluation de l'immeuble à cour ouverte - SNC BORDEAUX ACHARD - Version V 2.0 du 27/11/2017*. Le laboratoire GRECCAU a également réalisé des mesures acoustiques qui sont récapitulées dans un rapport : *Rapport 2018 : Approche pluridisciplinaire des ambiances, des comforts et des usages 23/70 d'immeubles d'habitation à « cour couverte » - Juillet 2018*.

Le PUCA a souhaité missionner Gamba Acoustique afin de mener des investigations complémentaires, pour connaître l'état des performances acoustiques du bâtiment au-delà du cadre réglementaire et du respect du cahier des charges dérogatoire, notamment afin d'évaluer plus finement les caractéristiques acoustiques de l'atrium. L'objectif étant d'identifier les pistes d'améliorations possibles du confort acoustique pour des bâtiments de ce type.

Les hypothèses de travail ont donc été orientées sur l'étude et la relation acoustique des riverains entre l'atrium et les logements. Pour cela, différentes méthodologies d'étude ont été appliquées :

- des observations physiques par le biais de mesures acoustiques,
- des modélisations pour la partie étude de l'atrium,
- des observations socio-acoustiques par une approche sur la base de questionnaires.

Isolement entre les logements

Pour rappel, l'objectif d'isolement au bruit aérien réglementaire entre deux logements est $D_{nt,A} \geq 53$ dB, fenêtres fermées. Les valeurs normalisées que nous avons mesurées sont supérieures à ce seuil minimum réglementaire et en cohérence avec les valeurs mesurées par le CEREMA. Les performances de niveau de bruit de choc entre logements, point relativement sensible et source de gêne, sont également conformes. L'analyse de nos mesures et de celles du CEREMA montrent que les objectifs réglementaires sont atteints et dépassés concernant ces aspects acoustiques.

Cependant, il serait opportun d'imposer une performance sur la sonorité à la marche des revêtements de sol sur les coursives de l'atrium (en béton brut sur ce projet). Un revêtement de sol présentant une sonorité à la marche de classe A ou B permettrait de limiter les bruits de déplacement à l'intérieur de l'atrium.

Selon la dérogation à la réglementation acoustique pour ce projet l'atrium est considéré comme une circulation intérieure avec un objectif porté à $D_{nt,A} \geq 40$ dB pour les pièces principales d'un logement et $D_{nt,A} \geq 37$ dB pour les cuisines ou salle d'eau. L'analyse de nos mesures et de celles du CEREMA montrent que ces objectifs ne sont pas systématiquement atteints (3 cas sur les 4 étudiés présentent une non-conformité).

Les résultats des mesures acoustiques montrent donc que les performances du bâti respectent en partie les seuils réglementaires mais que l'isolement entre les logements et l'atrium est insuffisant.

Impact de l'atrium sur l'isolement

Les mesures d'isolement entre les pièces des logements adjacents donnant sur l'atrium montrent que la confidentialité d'une discussion à l'intérieur d'une pièce d'un logement n'est pas assurée quand les fenêtres sont ouvertes. Dans ce cas, la conversation est perceptible dans l'atrium et même dans l'appartement adjacent. L'isolement brut ou décroissance (fenêtres ouvertes) d'un logement à l'autre est insuffisant, environ 37 dB, alors que dans les mêmes configurations, la valeur brute mesurée lorsque les fenêtres sont fermées est de 57 dB. Les mesures similaires réalisées coté extérieur montrent que le niveau d'isolement brut, fenêtre ouverte, est nettement plus important (47 dB).

Niveau de bruit résiduel dans l'atrium et à l'extérieur du bâtiment

Le niveau de bruit résiduel de jour à l'intérieur de l'atrium, 35 dB (A), est plus faible qu'à l'extérieur (40dB(A), dans une rue piétonne calme). On peut supposer que cet écart augmente significativement en considérant une façade donnant directement sur une voie de circulation.

Le niveau de bruit résiduel mesuré dans une chambre d'un logement donnant sur l'atrium avec la fenêtre ouverte, est proche de celui mesuré dans l'atrium soit environ 35 dB (A).

Ce constat implique que le niveau de confidentialité du côté de l'atrium est dégradé par rapport au côté donnant sur l'extérieur du bâtiment. En effet, le rapport signal sur bruit est plus important à l'intérieur de l'atrium (ainsi que dans les logements) et l'intelligibilité est donc meilleure.

Caractérisation de l'atrium

Des objectifs de durée de réverbération ont été définis en conception permettant de traduire les mesures complémentaires de la dérogation à la réglementation acoustiques accordée au projet. Les résultats des mesures du temps de réverbération montrent que ces objectifs sont respectés dans l'atrium. Les matériaux absorbant prévus sont adaptés pour le respect des objectifs fixés en étude et les valeurs restent acceptables au regard de volume de l'atrium.

Les mesures de décroissance sonore spatiale réalisées à l'extérieur sont cohérentes avec l'environnement et proche de la valeur théorique en espace infini. Dans l'atrium, on constate que la propagation sonore est différente selon l'axe considéré. La décroissance sonore par doublement de distance est nettement plus forte dans le sens de la largeur que dans le sens de la longueur. Ce constat est dû à la forme très allongée de l'atrium et à la localisation des traitements. Il peut être noté que les surfaces latérales non traitées favorise la propagation et limite donc la confidentialité.

La dérogation accordée au projet utilise le critère de durée de réverbération comme unique contrainte de la qualité de l'acoustique interne. Le critère de durée de réverbération montre certaine limite et ne permet pas de juger de la qualité de décroissance sonore en fonction de la direction. Il semble donc pertinent, sur les prochaines opérations avec dérogation, d'ajouter une contrainte avec ce critère de décroissance spatiale sonore dans ce type d'espace. La valeur retenue devra être supérieure ou égale à 4 dB/doublement de distance.

Les observations effectuées lors des mesures entre logements fenêtres ouvertes montrent que la décroissance spatiale est plus faible dans l'atrium, le niveau sonore est donc plus important (à distance équivalente de la source) du côté de l'atrium que de l'extérieur. Cela induit donc un isolement brut fenêtre ouverte plus important côté extérieur et donc une confidentialité moindre côté atrium.

De plus, le niveau de bruit faible dans l'atrium (35 dB(A)) du fait qu'il soit isolé vis-à-vis de l'extérieur, augmente encore cette perte de confidentialité.

Étude du rapport Signal/Bruit

L'étude du rapport signal sur bruit comme critère d'intelligibilité montre qu'une conversation dans une pièce donnant sur l'atrium, fenêtres ouvertes est largement audible et intelligible, même à voix faible. Les modélisations de propagation dans l'atrium confirment l'intelligibilité du message pour une voix de niveau moyen (« parole normal » générant 65 dB(A) à 1m) mais aussi pour une voix calme (discussion à voix basses, « parole calme » générant 50 dB(A) à 1m).

L'une des solutions possibles pour diminuer le rapport signal sur bruit et par conséquent dégrader l'intelligibilité entre logements fenêtres ouvertes serait de relever le niveau de bruit de fond plutôt faible dans l'atrium (≈ 35 dB(A)). En effet, si le bruit de fond dans l'atrium correspond à celui mesuré à l'extérieur du bâtiment de jour (50% du temps), soit 45 dB(A), les conversations produites à l'intérieur d'une chambre, fenêtre ouverte, seront nettement moins intelligible dans le voisinage proche.

Un niveau de 45 dB(A) reste un niveau relativement modéré et retrouvé communément en milieu urbain. Il est cependant non négligeable. L'augmentation du bruit de fond peut paraître une réponse simpliste à la problématique. La mise en œuvre de cette solution doit être étudiée et réglée in situ.

Il est par ailleurs envisageable que le bruit de fond mis en place s'adapte au moment de la journée. En effet, on peut naturellement penser que les conversations à masquer soient plus modérées au milieu de la nuit n'impliquant plus la nécessité d'un bruit de fond aussi élevé. Ce niveau de masque pouvant potentiellement être perceptible pour les gens qui souhaiteraient garder leurs fenêtres ouvertes sur l'atrium la nuit. Une autre voie à explorer pour minimiser l'impact négatif du bruit masquant serait de ne produire celui-ci que lorsque qu'il y a quelque chose à masquer. Cette idée, simple à exprimer et à comprendre, reste quand même délicate à mettre au point car il faut être capable de détecter à quel moment enclencher le masquage sonore. Pour cela, il faut que l'apparition et la disparition du masque soit « aussi naturelle que possible » pour que cette variabilité ne soit pas elle-même une source de gêne. »

Appréciation des qualités acoustique d'un logement

Les questionnaires, basés sur une initiative du CINOV GIAC (Groupement de l'Ingénierie Acoustique), permet une appréciation des qualités acoustique par les personnes qui y vivent. Les personnes questionnées semblent relativement satisfaites de la qualité acoustique de leurs logements. Il semble donc que la dérogation accordée, ne pose pas de problèmes importants, dès lors que les exigences associées sont respectées.

Cependant, les personnes interrogées nous ont fait part à plusieurs reprises de commentaires concernant d'autres sources d'inconfort tel que des dégradations, des comportements du voisinage, une problématique liée à l'ouverture des ventelles ainsi que le manque de convivialité entre voisin au sein du bâtiment

L'enquête ne montre pas d'inconfort acoustique généralisé lié à l'atrium au moment de notre venue. Ce constat est à mettre en perspective avec le fait que des interdictions ont dû être mis en place pour donner suite à nombreuse plaintes des habitants. En effet les enfants n'ont plus droit de jouer dans l'atrium, et lorsque cela est le cas, des ballons en mousse doivent être utilisés. Si ces mesures semblent fonctionner au regard des résultats de l'enquête, elles restent contradictoires

avec l'objectif de profiter de cet espace pour tisser du lien social. Plusieurs remarques ont d'ailleurs été formulé à ce sujet par les personnes interrogées.

Les résultats de ces observations (mesures acoustiques et questionnaires) sont à croiser avec les analyses réalisées en parallèle par l'équipe de recherche du GRF Ressources.

8 Annexe 1 : Définitions et incertitudes

Niveau sonore

Schématiquement, on peut dire qu'une vibration émise dans l'air par une source de bruit provoque au niveau de l'oreille d'un auditeur une variation de pression. L'auditeur perçoit l'intensité de cette variation de pression et les fréquences qui la composent (grave, aigu). L'intensité minimale perceptible est de 10^{-12} W/m^2 , l'intensité maximale est de 1 W/m^2 .

Du fait de l'écart gigantesque entre les valeurs minimales et maximales, l'échelle représentative de cette variation est très mal commode. On fait donc appel à une échelle plus pratique, celle, logarithmique, du décibel (dB). On calcule ainsi le niveau sonore :

$$L_{dB} = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

L_{dB} est le niveau sonore en dB dû à l'intensité sonore I . I_0 est le seuil d'audibilité (10^{-12} W/m^2).

Le dB(A)

En présence d'un bruit un auditeur perçoit l'intensité et la représentation en fréquence (grave, aigu) de ce bruit. En principe à chaque fréquence est associée un niveau sonore. Pour parfaitement décrire un bruit, il faudrait donc connaître son niveau pour chacune de ses fréquences. Une telle description est bien entendue lourde. Pour simplifier la description, on calcule donc une valeur qui est la somme des valeurs des intensités à chaque fréquence pondérées par un terme représentatif de la sensibilité de l'appareil auditif humain à chaque fréquence. A partir de cette valeur d'intensité, on calcule un niveau sonore qui est le niveau exprimé en dB(A).

Niveau sonore continu équivalent, L_{A50} et L_{A90}

Le niveau sonore continu équivalent est le niveau sonore pondéré A d'un bruit continu stable qui au cours de la même période produirait la même énergie que le bruit analysé.

C'est donc, sur la période considérée, le niveau sonore associé à la moyenne des intensités instantanées. On le note L_{eq} .

Les sonomètres stockeurs (tel que le SIP95 par exemple), sont munis d'un système intégrateur qui calcule les L_{eq} successifs sur une durée minimum de base (pour les mesures présentées dans ce document, la durée minimum est de 1s).

$$L_{eqi} = 10 \cdot \log \left(\int_0^{T_0} \frac{I(t)}{I_0} dt \right),$$

ici T_0 vaut 1s. $I(t)$ est l'intensité sonore à l'instant t .

Ces L_{eqi} sont stockés en mémoire au fur et à mesure de leur arrivée, et l'affichage de leur valeur permet de construire les évolutions temporelles telles que celles présentées dans ce document.

La moyenne des intensités associées à ces L_{eqi} sur la durée de mesure, permet le calcul du L_{eq} sur la durée totale de la mesure.

$$L_{eq,T} = 10 \cdot \log \left(\sum_{i=T_0}^T \frac{T_i}{T} 10^{\frac{L_{eqi}}{10}} \right)$$

ici T_0 est la durée d'intégration de base: 1 s.

T est la durée de mesure : par exemple 9 h (entre 7 et 22 h). L_{eqi} est le i ème L_{eq} , donc celui qui a été intégré à la date $(i-1)T_0$ après le début de la mesure et significatif des événements survenus entre la date $(i-1)T_0$ et iT_0 après le début de la mesure.

Le L_{A50} est le niveau sonore dépassé pendant 50% du temps qu'a duré la mesure de L_{eq} . Ce niveau est donc significatif du bruit moyen.

Le L_{A90} est le niveau sonore dépassé pendant 90% du temps qu'a duré la mesure de L_{eq} . Ce niveau est donc significatif du bruit de fond.

Émergence sonore, bruit particulier, bruit ambiant, bruit résiduel

On appelle émergence sonore la différence arithmétique entre le niveau sonore qui règne lors du fonctionnement d'une installation donnée telle qu'un bar, une discothèque, un équipement technique, ... (bruit ambiant) et le niveau sonore qui règne normalement les autres jours durant la même période ou qui régnerait si l'équipement n'était pas utilisé (bruit résiduel).

Par définition, le bruit ambiant est la somme logarithmique entre le bruit résiduel et le bruit propre de l'installation considérée que l'on appelle bruit particulier.

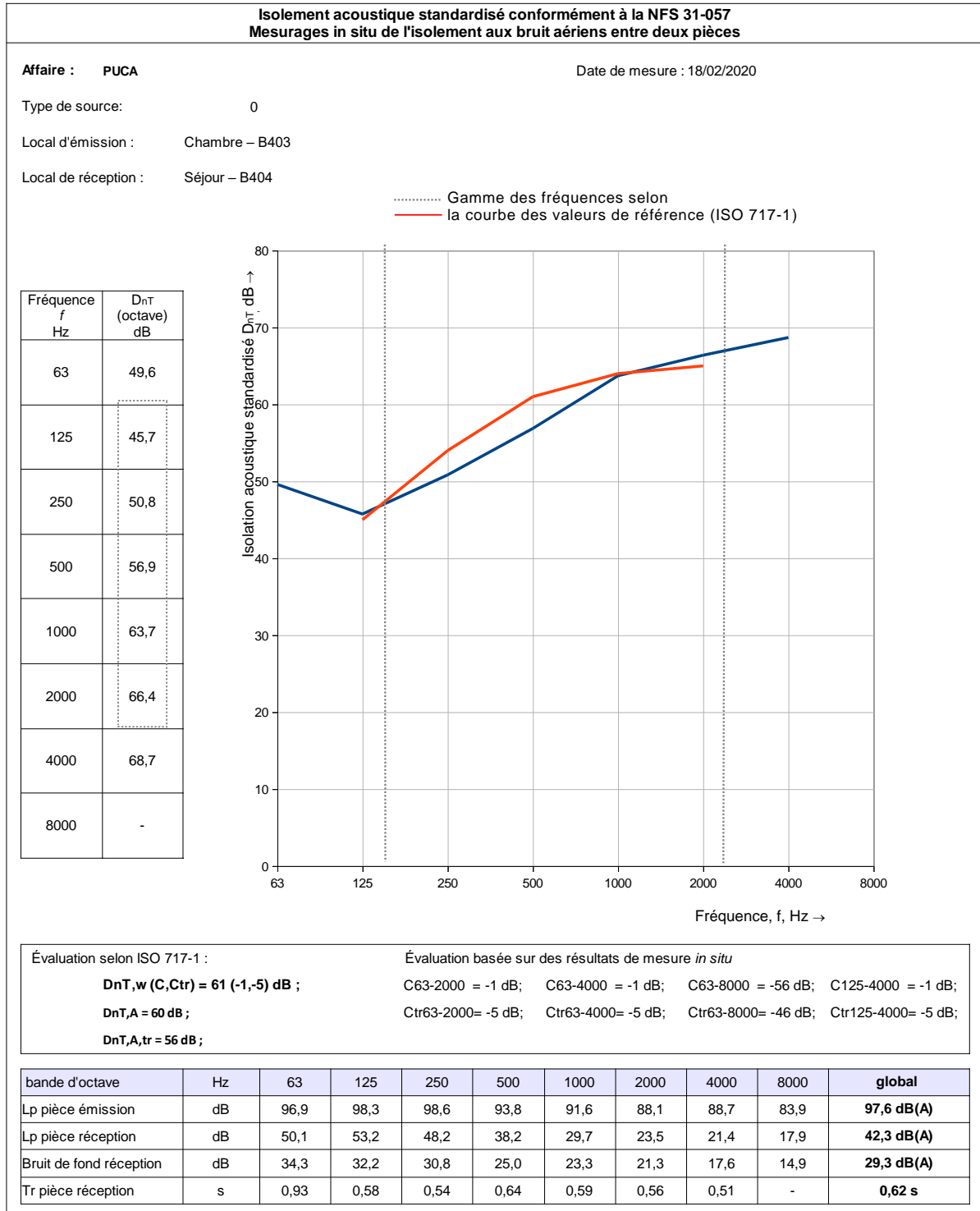
Incertitude

En général, sous réserve d'une contre précision dans le corps du texte, tous les résultats de mesures des niveaux sonores affichés dans le présent rapport le sont avec les incertitudes suivantes :

- ± 3 dB(A) sur les L_{Aeq}
- par bande de fréquences :

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
± 8 dB	± 6 dB	± 5 dB	± 4 dB	± 3 dB	$\pm 2,5$ dB	$\pm 2,5$ dB

Annexe 2 : Isolement acoustique standardisé



**Isolement acoustique standardisé conformément à la NFS 31-057
Mesurages in situ de l'isolement aux bruit aériens entre deux pièces**

Affaire : PUCA

Date de mesure : 18/02/2020

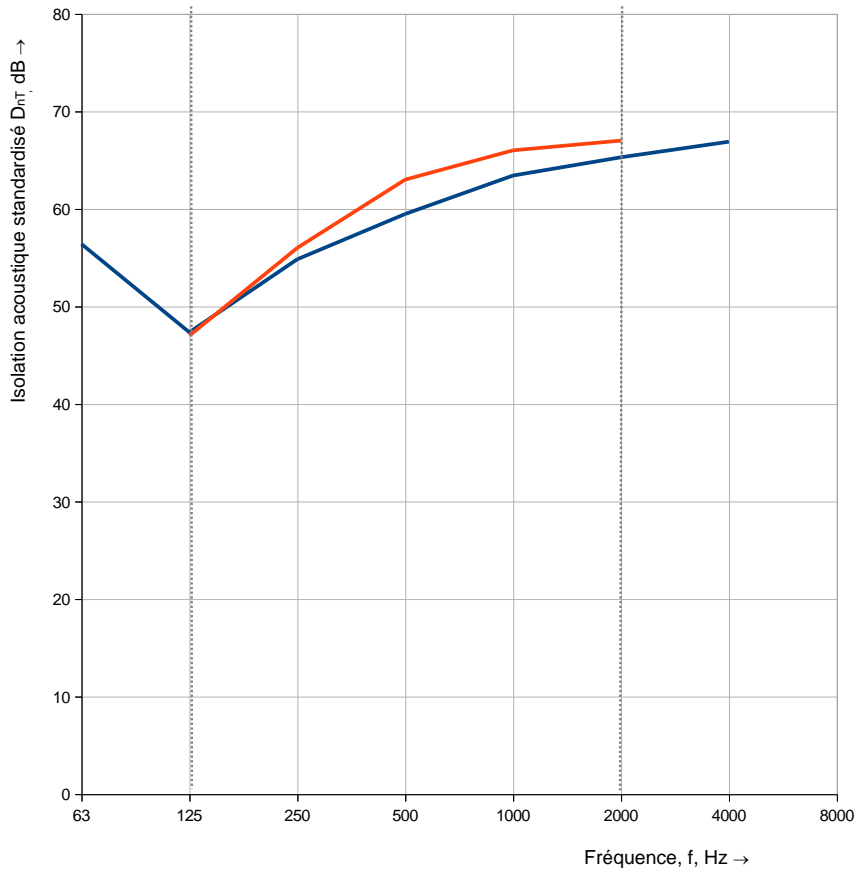
Type de source: 0

Local d'émission : Cellier- B403

Local de réception : Séjour - B404

..... Gamme des fréquences selon
— la courbe des valeurs de référence (ISO 717-1)

Fréquence f Hz	D _{nT} (octave) dB
63	56,4
125	47,3
250	54,8
500	59,5
1000	63,4
2000	65,3
4000	66,9
8000	-



Évaluation selon ISO 717-1 :

DnT,w (C,Ctr) = 63 (-2,-5) dB ;

DnT,A = 61 dB ;

DnT,A,tr = 58 dB ;

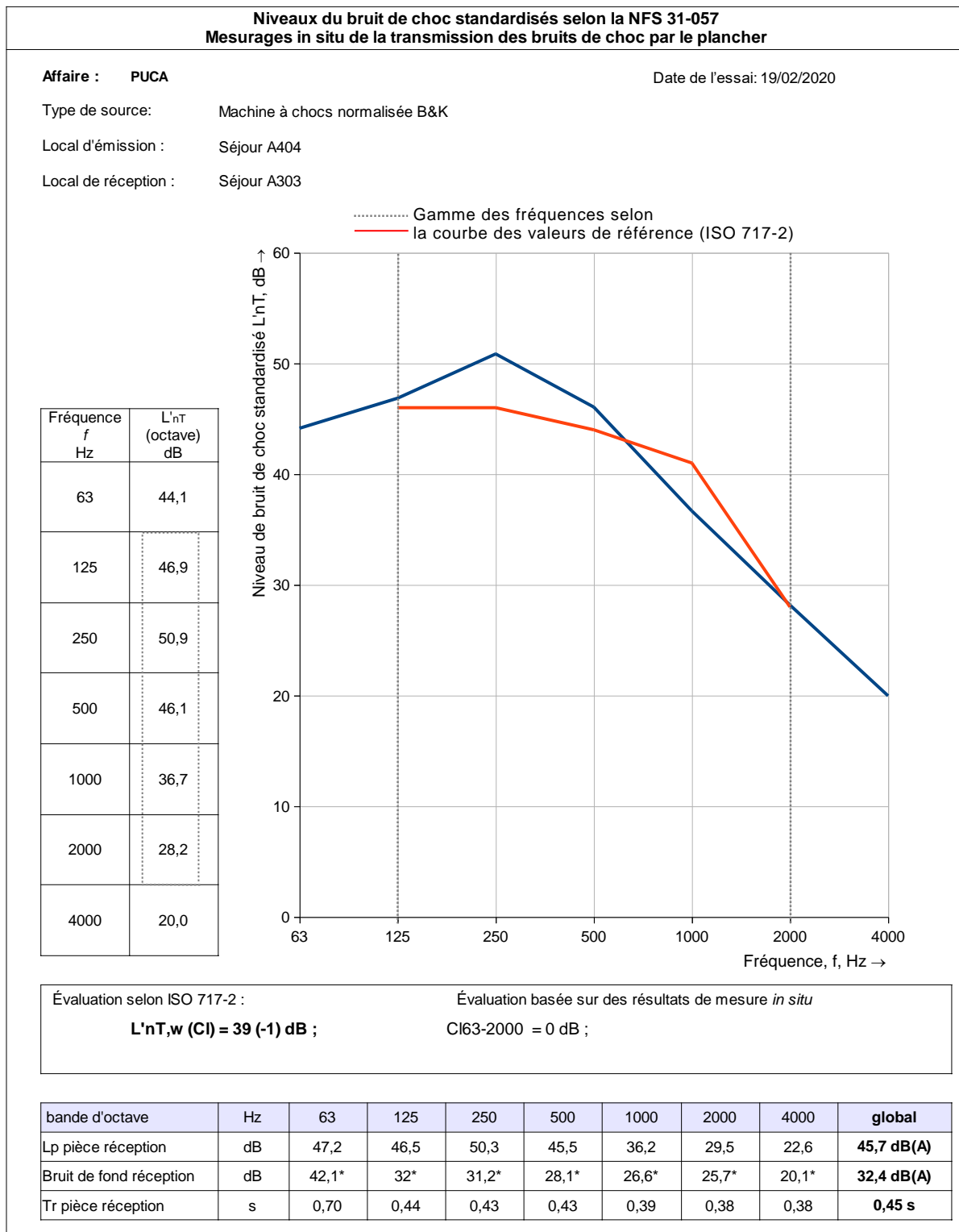
Évaluation basée sur des résultats de mesure *in situ*

C63-2000 = -2 dB; C63-4000 = -1 dB; C63-8000 = -58 dB; C125-4000 = -1 dB;

Ctr63-2000= -5 dB; Ctr63-4000= -5 dB; Ctr63-8000= -48 dB; Ctr125-4000= -5 dB;

bande d'octave	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	global
Lp pièce émission	dB	100,5	100,3	103,1	98,3	95,8	92,4	93,3	88,7	102,0 dB(A)
Lp pièce réception	dB	47,0	53,6	48,7	40,0	33,5	28,5	27,0	25,2	44,0 dB(A)
Bruit de fond réception	dB	34,3	32,2	30,8	25,0	23,3	21,3	17,6	14,9	29,3 dB(A)
Tr pièce réception	s	0,93	0,58	0,54	0,64	0,59	0,56	0,51	-	0,62 s

Annexe 3 : Mesure du niveau de bruit de choc



**Niveaux du bruit de choc standardisés selon la NFS 31-057
Mesurages in situ de la transmission des bruits de choc par le plancher**

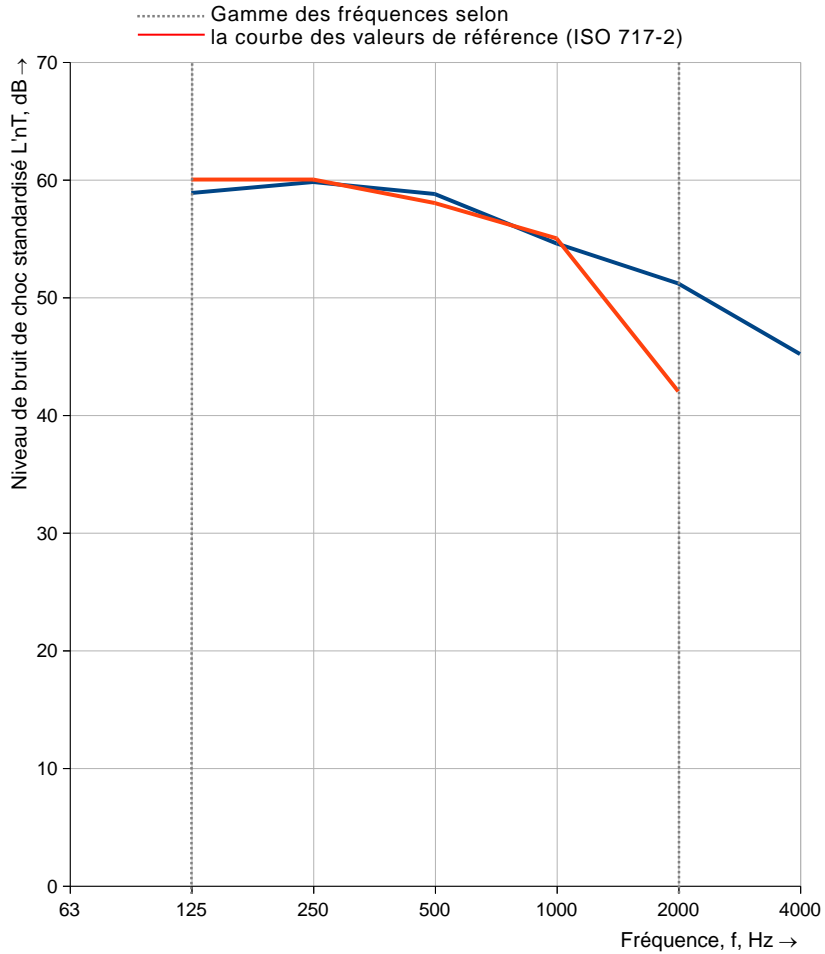
Affaire : PUCA

Date de l'essai: 19/02/2020

Type de source: Machine à chocs normalisée B&K

Local d'émission : Passerelle R+2

Local de réception : Chambre 01 – C208



Fréquence f Hz	L'nT (octave) dB
63	-
125	58,9
250	59,8
500	58,8
1000	54,6
2000	51,2
4000	45,2

Évaluation selon ISO 717-2 :

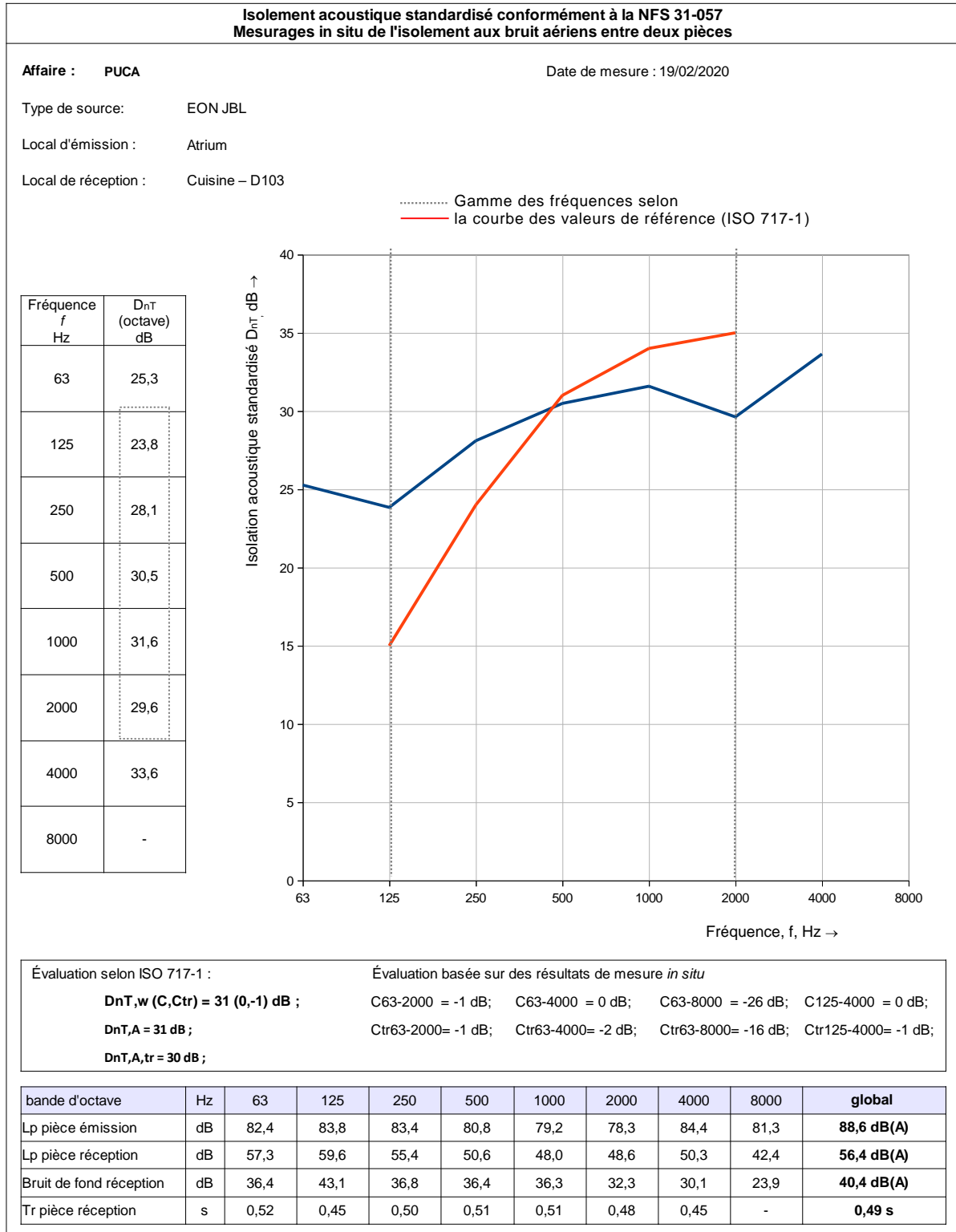
Évaluation basée sur des résultats de mesure *in situ*

L'nT,w (CI) = 53 (-3) dB ;

-

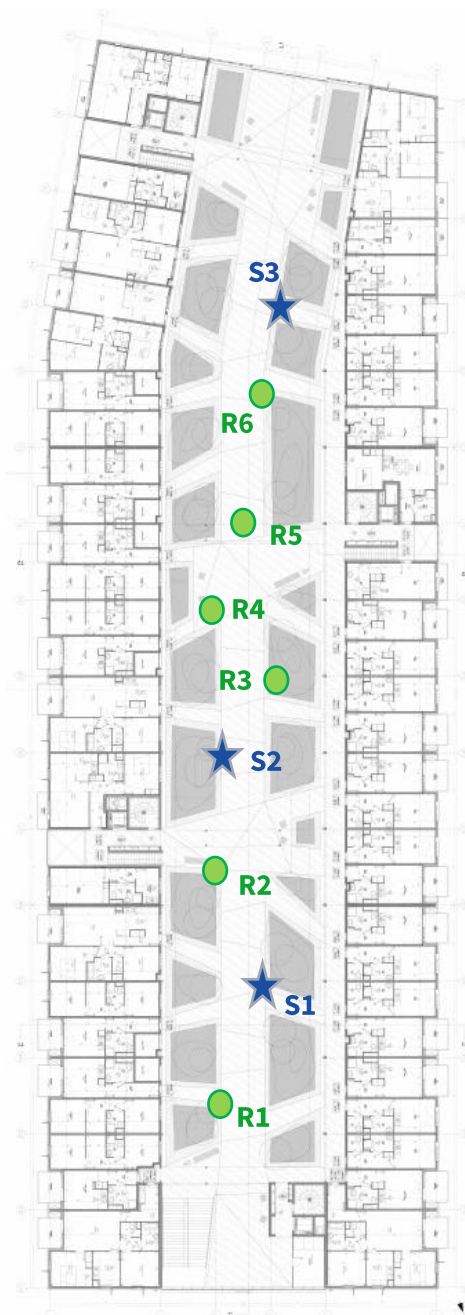
bande d'octave	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	global
Lp pièce réception	dB	48,9	58,3	59,7	57,8	53,6	50,2	44,2	59,1 dB(A)
Bruit de fond réception	dB	46,5*	32,2*	32,8*	29,4*	23,2*	18,8*	14,4*	30,4 dB(A)
Tr pièce réception	s	-	0,44	0,49	0,38	0,38	0,36	0,31	0,39 s

Annexe 4 : Mesure de l'isolement aux bruit aérien provenant de l'atrium



Annexe 5 : Mesure de la durée de réverbération

Hz	S 1			S 2			S 3		
	R1	R2	MOY	R3	R4	MOY	R5	R6	MOY
63	2,61	2,26	2,44	2,02	1,84	1,93	2,33	2,68	2,51
125	1,66	1,84	1,75	1,52	1,56	1,54	1,85	1,70	1,78
250	1,47	1,49	1,48	1,50	1,51	1,51	1,52	1,42	1,47
500	1,54	1,45	1,50	1,63	1,72	1,68	1,68	1,65	1,67
1 k	1,71	1,66	1,69	1,79	1,81	1,80	1,85	1,87	1,86
2 k	1,71	1,62	1,67	1,81	1,83	1,82	1,85	1,88	1,87
4 k	1,48	1,50	1,49	1,58	1,63	1,61	1,59	1,59	1,59
Moyenne 125 Hz - 4000 Hz			1,59			1,66			1,70



Annexe 6 : Méthode d'analyse du niveau de bruit résiduel

L'estimation du niveau de bruit résiduel consiste à déterminer le niveau sonore représentatif du bruit de fond. Celui-ci est en général déterminé par l'environnement sonore lointain, les événements proches étant rarement statistiquement reproductibles. Pour cela, on analyse l'évolution temporelle des niveaux sonores et on retient parmi les indices L_{Aeq} , L_{50} , L_{90} celui qui, dans la configuration étudiée, est le plus adapté.

Ainsi, si le L_{Aeq} et le L_{50} présentent des valeurs semblables, cela peut signifier qu'il n'y a pas d'événements proches fortement influents. Il est donc possible de retenir comme niveau de bruit résiduel la valeur du L_{Aeq} .

Cependant, si le L_{Aeq} et le L_{50} ne présentent pas des valeurs semblables mais que la valeur du L_{50} est proche de celle du L_{90} , on peut en conclure que les événements sonores proches influent fortement sur le niveau sonore et que l'indice L_{50} est par conséquent plus représentatif du niveau de bruit résiduel que le L_{Aeq} .

Enfin, si le L_{Aeq} , le L_{50} et le L_{90} ne présentent pas des valeurs semblables, nous considérerons le L_{90} comme le critère le plus représentatif du niveau de bruit résiduel.

Le L_{90} est généralement considéré comme représentatif du bruit de fond et le L_{50} comme représentatif du niveau sonore « moyen ».

Pour les questions suivantes, deux types de réponses vous sont demandés: - Entendez-vous du bruit (de "A= pas de bruit à , "E= beaucoup de bruit")?, puis
(de "A= pas gêné" à "E= excessivement gêné")?

- Etes-vous gêné

		Entendez-vous du bruit ?					Etes-vous gêné par le bruit?					Commentaires
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	
17	Les bruits provenant de l'extérieur											
18	Les bruits aériens provenant des autres logements											
19	Les bruits aériens provenant des circulations communes											
20	Les bruits aériens provenant des autres locaux (commerces, parkings, garages, etc)											
21	Les bruits de pas, de chocs, de chutes d'objets, de roulements, etc provenant d'autres logements											
22	Les bruits de pas, de chocs, de chutes d'objets, de roulements, etc provenant des circulations communes											
23	Les bruits de pas, de chocs, de chutes d'objets, de roulements, etc venant d'autres locaux (commerces, parkings, garages, etc)											
24	Les bruits provenant des équipements techniques du bâtiment											
25	Autres bruits (à préciser)?											

Annexe 8 : Protocole de suivi expérimental de l'opération (PUCA) – Extrait de la page 10

2. Mesures complémentaires propres à l'opération

2.1. REGLEMENTATION ACOUSTIQUE

Rappel de la réglementation

Concernant l'isolement acoustique standardisé pondéré entre pièces principales et circulation commune intérieure, il doit être au moins de 40 dB lorsque le local d'émission et le local de réception sont séparés par une porte palière seule ou par une porte palière et une porte de distribution, et de 53 dB dans les autres cas.

L'article 1 de l'arrêté du 30 juin 1999 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation définit ainsi ce qu'on doit entendre par « circulations communes » : « circulations horizontales ou verticales desservant l'ensemble des locaux privatifs, collectifs et de service, tels que halls, couloirs, escaliers, paliers, coursives ». La cour fermée / serre de ce projet est donc une circulation commune au sens de l'article 1 de l'arrête précité.

Contexte de l'opération

Or dans le cas présent la circulation est un volume couvert et clos de 33 345 m³ contenant de la végétation et un réseau de passerelles, ce qui laisse penser qu'à émission de bruit égale la réception sera différente.

Proposition de mesure complémentaire

L'atrium dans son ensemble est considéré comme une circulation commune et à ce titre l'isolation acoustique entre l'atrium et les logements a été renforcée pour viser un isolement de DnTA de 40 dB entre l'atrium et les pièces principales des logements et 37 dB entre l'atrium et les cuisines ou les salles d'eau.

L'absorption acoustique de l'atrium a été renforcée en sous face de la couverture et sur les gardes corps des coursives pour diminuer les temps de réverbération entre les parois.