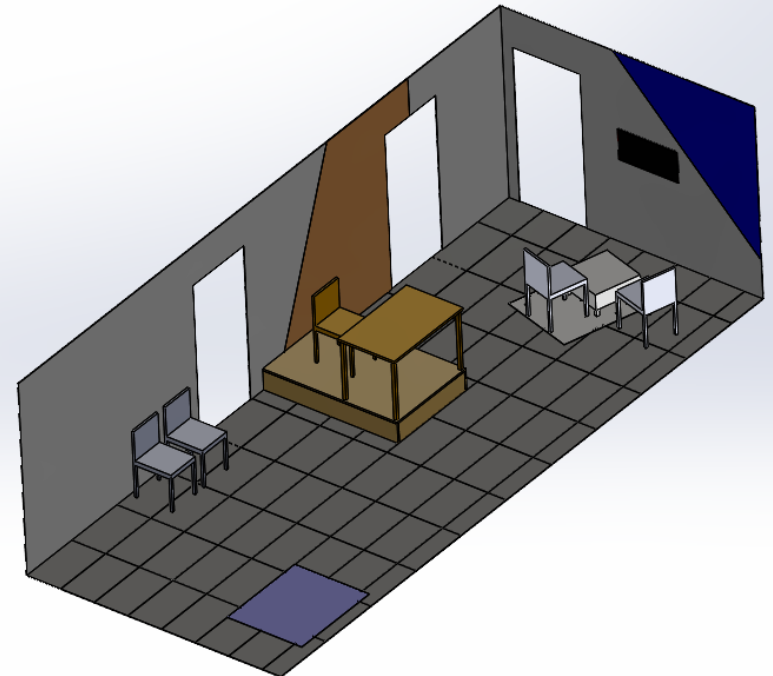




Etude de la relation potentielle entre la réponse physiologique et la gêne exprimée lors de la coexposition au bruit et aux vibrations par les résidents de bâtiments en proximité des lignes ferroviaires

05/06/2024 - Gwénaëlle Haese, Ségolène Jacob, Nicolas Picard, Julien Maillard, Catherine Guigou-Carter, Pierre Ropars, Jan Jagla



01

Mesurer la gêne ressentie par les riverains d'infrastructures ferroviaires (objective et subjective)

02

Etudier le lien entre les caractéristiques physiques de l'exposition acoustique et vibratoire et la gêne ressentie

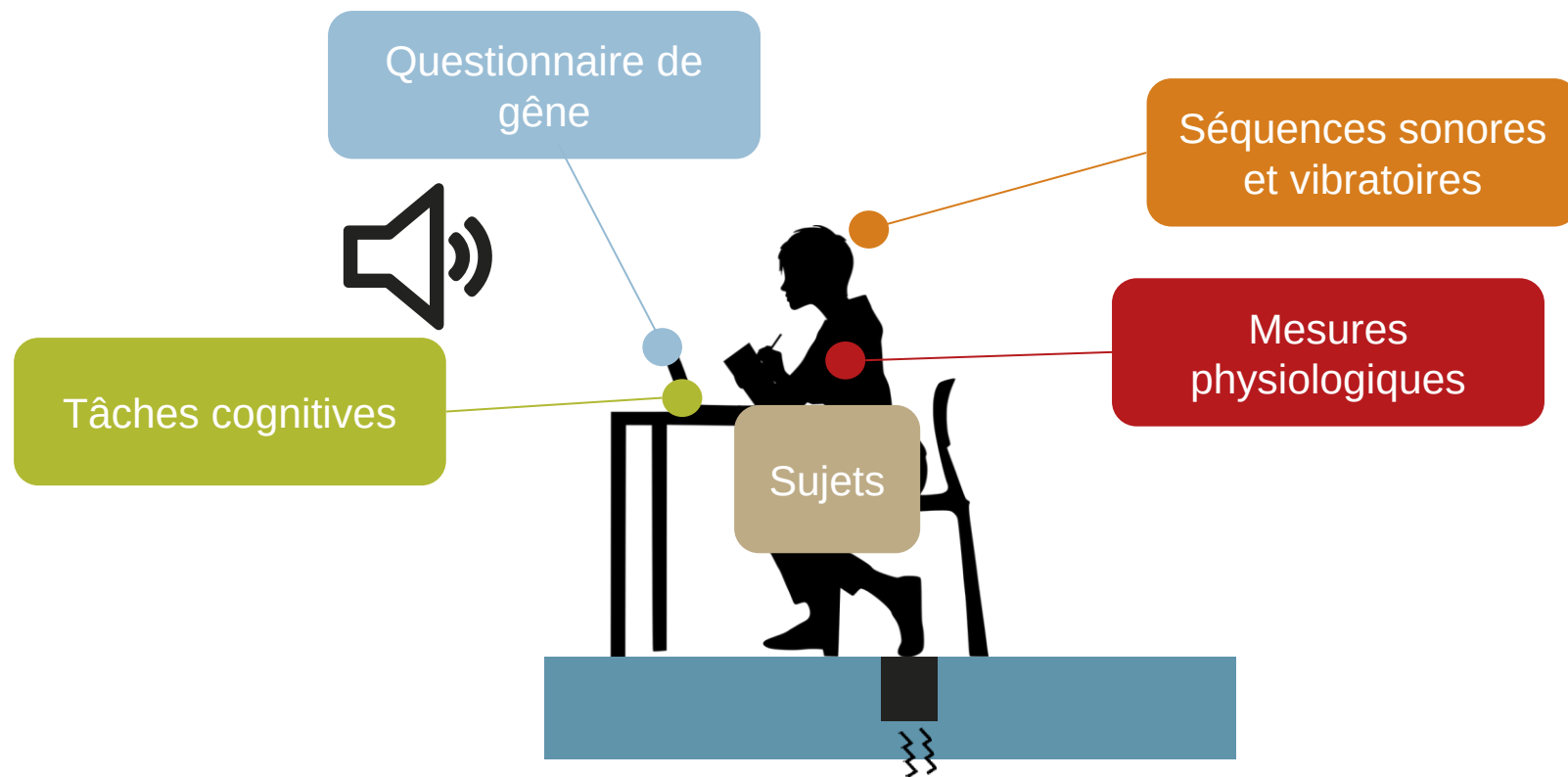
03

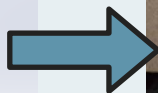
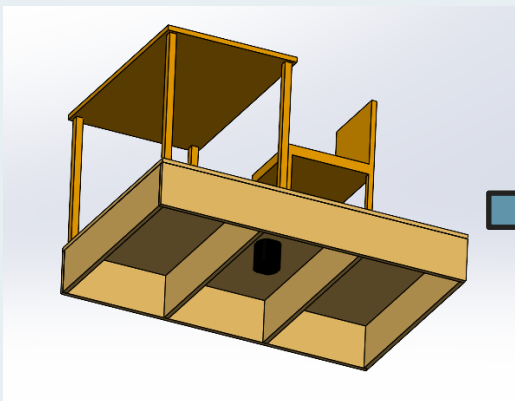
Construire un indicateur représentatif de la gêne



Méthode développée en 2022 et appliquée en 2023 sur des données « limitées »

Extension des travaux en 2024 et 2025 sur un jeu de données exhaustif





Choix d'une société spécialisée dans la sélection de panel de sujets

Age < 60 ans
50% H – 50 % F
18 < IMC < 30

100
candidats

Noise Q : 12 questions

Sur une échelle en 4 points : Pas du tout d'accord 1 2 3 4 Tout à fait d'accord

1. J'ai besoin d'un environnement complètement calme pour avoir une bonne nuit de sommeil.

10. Je suis prêt(e) à accepter des inconvénients pour vivre dans un endroit calme.

11. J'ai besoin de calme et de tranquillité pour effectuer un travail difficile.

12. Je peux m'endormir même quand c'est bruyant.

Sensibilité aux bruits et
aux vibrations ++

20
sujets

Indemnisation
100€

CONSIGNES PARTICULIÈRES POUR LES TESTS SONORES ET VIBRATOIRES AVEC MESURES PHYSIOLOGIQUES

- > Tenue vestimentaire confortable légère, haut coton + pantalon ou jean
- > Pas de café ni d'aspirine au moins 2h avant le test

- > 20 séquences issue de la modulation d'une séquence « étalon » : Co-exposition originale

Séquence	Vibrations	Bruit solidien	Bruit aérien
<i>Bruit_Original</i>			-
<i>Bruit_Variante3</i>			-10 dB
<i>Bruit_Variante4</i>			+10 dB
Séquence Témoin <i>Coexposition_Original</i>	-	-	-
<i>Coexposition_Variante1</i>	-10 dB	-10 dB	-
<i>Coexposition_Variante2</i>	+10 dB	+10 dB	-
<i>Coexposition_Variante3</i>	-10 dB	-10 dB	-10 dB
<i>Coexposition_Variante4</i>	+10 dB	+10 dB	+10 dB
<i>Coexposition_Variante5</i>	Filtrage pour maximum 20 Hz et +10 dB	Filtrage pour maximum 20 Hz et +10 dB	-
<i>Coexposition_Variante6</i>	Filtrage pour maximum 20 Hz et +25 dB	Filtrage pour maximum 20 Hz et +25 dB	-
<i>Coexposition_Variante7</i>	-	Filtrage pour maximum 50 Hz	-
<i>Coexposition_Variante8</i>	Filtrage pour maximum 20 Hz et +25 dB	Filtrage pour maximum 20 Hz et +25 dB	+10 dB
<i>Coexposition_Variante9</i>	-	-	+10 dB
<i>Coexposition_Variante10</i>	-10 dB	-10 dB	+10 dB
<i>Vibration_Original</i>	-	-	
<i>Vibration_Variante1</i>	-10 dB	-10 dB	
<i>Vibration_Variante2</i>	+10 dB	+10 dB	
<i>Vibration_Variante5</i>	Filtrage pour maximum 20 Hz et +10 dB	Filtrage pour maximum 20 Hz et +10 dB	
<i>Vibration_Variante6</i>	Filtrage pour maximum 20 Hz et +25 dB	Filtrage pour maximum 20 Hz et +25 dB	
<i>Vibration_Variante7</i>	-	Filtrage pour maximum 50 Hz	

Mesure	Instrumentation	Indicateur
Fréquence cardiaque	Module ECG FE132 + 3 électrodes ECG MLA2503	Eveil ou Relaxation
Réponse électrodermale (sudation)	Amplificateur GSR + système d'électrodes MLT116F GSR	Stress
Microcirculation cutanée	Periflux monovoie Laser (780nm) + sonde PR407 à fibre optique	Appréciation
Fréquence respiratoire	Ceinture Pneumotrace	Eveil ou Relaxation

Synchronisation de l'ensemble des signaux grâce à la centrale d'acquisition PowerLab 8/35 – AD Instruments



6 questions sur la perception et la gêne induite par les séquences sonores et vibratoires (adaptées de la norme NF ISO 22 955) :

Q1. Diriez-vous que le bruit était perceptible ?

Q2. Diriez-vous que le bruit était gênant ?

Q3. Diriez-vous que les vibrations étaient perceptibles ?

Q4. Diriez-vous que les vibrations étaient gênantes ?

Q5. Diriez-vous que le bruit et les vibrations étaient perceptibles ?

Q6. Diriez-vous que le bruit et les vibrations étaient gênantes ?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pas du tout	Légèrement			Moyennement			Beaucoup			Extrêmement
										

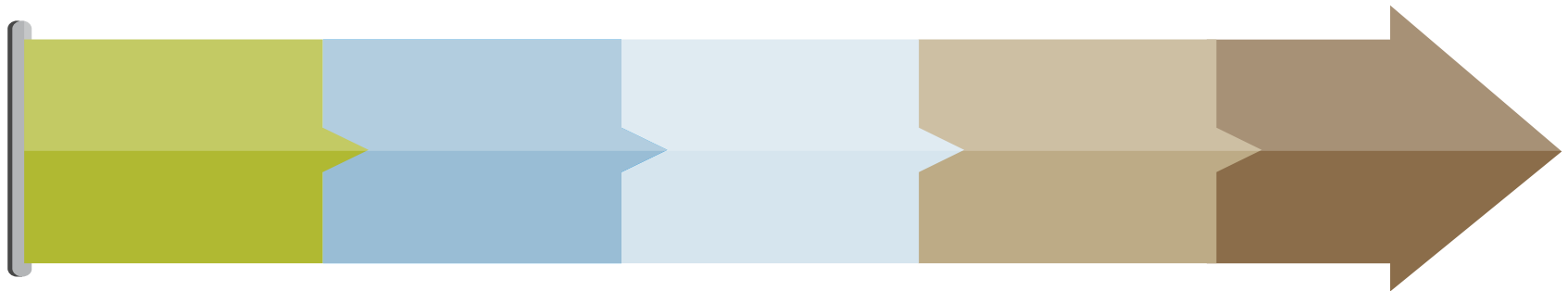
Q7. De façon générale, comment jugez-vous cet environnement de votre point de vue personnel

Tout à fait acceptable	Tout juste acceptable	Tout juste inacceptable	Tout à fait inacceptable
			

Séance 0

Séance 1 & Séance 2

Séance 3 & Séance 4



Mesures Physiologiques

- Présentation du test
- Test de seuils de sensibilité au bruit et aux vibrations
- Test de seuils de gêne au bruit et aux vibrations

- 2 x 11 séquences sonores et vibratoires (15sec)
- Pas de tâches cognitives
- Questionnaire gêne après chaque séquence

- 2 x 11 séquences sonores et vibratoires (40sec)
- Série 1 : avec tâche Toulouse-1-back
- Série 2 : avec tâche Test de Rey
- Questionnaire gêne après chaque séquence

→ 100 heures de séances

→ 3 semaines d'expérimentations

Trois types de
données
récoltées

Subjective

Gêne exprimée dans
les questionnaires

- Suite à l'exposition sonore et vibratoire à chaque séquence
- Sur la difficulté à réaliser les tâches cognitives

Physiologique

Indicateurs issus
des réponses
physiologiques

- Lors de l'exposition sonore et vibratoire à chaque séquence
- Lors de la réalisation des tâches cognitives

Performance

Indicateurs de
performance à la
réalisation des
tâches cognitives

- Lors de l'exposition sonore et vibratoire à chaque séquence

Analyse

- Analyse descriptive (boîtes de dispersion), résumés quantitatifs (moyennes, écarts-types, min/max)
- Analyse statistique pour mesurer les effets "séquence sonore/vibratoire", "sujet" et/ou "tâches cognitives" sur les données subjectives, physiologiques et de performance

$$Q2 \text{ Bruit Gêne} = 12,96 * MC - Integrale \quad R^2 = 0.643$$

$$Q4 \text{ Vibration Gêne} = -2,87 * FC - Amplitude + 11,61 * MC - Amplitude \quad R^2 = 0.739$$

$$Q6 \text{ Bruit et Vibration Gêne} = 16,97 * MC - Integrale - 5,11 * MC - Durée \quad R^2 = 0.760$$

$$Q7 \text{ Acceptabilité} = 5,47 * MC - Integrale - 1,43 * MC - Durée \quad R^2 = 0.754$$

Ces modèles permettent d'objectiver la gêne exprimée par les sujets et démontrent qu'une gêne exprimée s'accompagne d'effets significatifs sur différents indicateurs physiologiques

Stimuli avec
bruit seul

$$Q2 \text{ Bruit Gêne} = 0,123 * \textit{Pression_aerien_aucune_eq} (R^2 = 0,799)$$

$$Q2 \text{ Bruit Gêne} = 0,136 * \textit{Pression_aerien_A_eq} (R^2 = 0,808)$$

$$Q7 \text{ Acceptabilité} = 0,038 * \textit{Pression_aerien_A_eq} (R^2 = 0,620)$$

- Indicateur de pression aérienne pondéré A légèrement plus corrélé à la gêne que l'indicateur non pondéré
- Seuil d'acceptabilité du bruit = 39.47 dBA

Stimuli avec
vibrations seules

$$Q4 \text{ Vibration Gêne} = 0,066 * \text{Vitesse_aucune_eq} (R^2 = 0,659)$$

$$Q6 \text{ Bruit et Vibration Gêne} = 0,075 * \text{Vitesse_aucune_eq} (R^2 = 0,767)$$

$$Q7 \text{ Acceptabilité} = 0,024 * \text{Vitesse_aucune_eq} (R^2 = 0,708)$$

- La gêne due aux vibrations peut être exprimée en fonction du niveau de vitesse vibratoire mesuré dans l'habitation
- Seuil d'acceptabilité des vibrations = 62.5 dB (en vitesse ref 50e-9 m/s⁻¹)

Stimuli avec coexposition

$$Q2 \text{ Bruit Gene} = 0,012 * \textit{Pression_solidien_aucune_eq} + 0,146 * \textit{Pression_aerien_A_eq} (R^2 = 0,896)$$

$$Q4 \text{ Vibration Gene} = 0,065 * \textit{Vitesse_aucune_eq} (R^2 = 0,660)$$

$$Q6 \text{ Bruit et vibration Gene} = 0,042 * \textit{Vitesse_aucune_eq} + 0,096 * \textit{Pression_totale_A_eq} (R^2 = 0,907)$$

$$Q7 \text{ Acceptabilité} = 0,030 * \textit{Vitesse_aucune_eq} (R^2 = 0,838)$$

$$Q7 \text{ Acceptabilité} = 0,053 * \textit{Pression_totale_A_eq} (R^2 = 0,841)$$

- Les niveaux de pression solidienne et de pression aérienne expliquent 90% de la variance de la gêne due au bruit
- Le niveau de vitesse vibratoire explique 66% de la variance le gêne due aux vibrations
- Les niveaux de vitesse vibratoire et de pression totale pondérée A expliquent près de 91 % de la variance de la gêne due à la coexposition
- Seuil d'acceptabilité = 28.3 dBA (en pression totale ref 20e-6 Pa)
- Seuil d'acceptabilité = 50 dB (en vitesse ref 50e-9 m/s⁻¹)

Reprise du protocole
élaboré en 2023

Enrichissement de la base de données
des signaux acoustiques et vibratoires

Essais en laboratoire 2023

- Type de train et vitesse de passage unique
- Pas d'exposition répétée ni nocturne
- Mesures physiologiques étendues

Essais in situ 2024

- Différents types et vitesses de trains
- Prise en compte des effets de l'exposition répétée et nocturne
- Mesures physiologiques non invasives (limitées)

Essais en laboratoire 2024 / 2025

- Différents types et vitesses de trains
- Pas d'exposition répétée ni nocturne
- Mesures physiologiques étendues

Robustesse de l'indicateur de gêne

