



25th International Congress on Sound and Vibration
8-12 July 2018 HIROSHIMA CALLING

ICSV25



Traduit de

A GROUND STUDY FOR THE EVALUATION OF THE EFFECT OF SOUND MASKING ON OCCUPATIONAL HEALTH AND WELLBEING IN OPEN-PLAN SPACES

Patrick Chevret, Lucas Lenne

Présenté à The 25th International Congress on Sound and Vibration ICSV25, Hiroshima, Japan, 8-12 July 2018.

UNE ÉTUDE DE TERRAIN POUR L'ÉVALUATION DE L'EFFET DU MASQUAGE SONORE SUR LA SANTÉ ET LE BIEN-ÊTRE AU TRAVAIL DANS LES BUREAUX OUVERTS.

Patrick Chevret, Lucas Lenne

Institut National de Recherche et Sécurité (INRS), 1 rue du Morvan, CS 60027, 54519, Vandœuvre cedex.

Les systèmes de masquage sonore d'aujourd'hui sont présentés comme des outils pour réduire les nuisances sonores dans les bureaux ouverts. Ces systèmes comprennent des haut-parleurs qui augmentent artificiellement le bruit de fond pour réduire l'intelligibilité de la parole et, selon leurs fabricants, ils réduisent les perturbations et la fatigue cognitive. Ces arguments reposent sur des études dont la représentativité reste limitée puisqu'elle ne repose que sur des expériences de laboratoire impliquant des temps d'exposition courts. C'est ce manque de données représentatives qui justifie la présente étude, dont l'objectif est d'évaluer in situ les effets d'un système de masquage sur différents états psychologiques (fatigue, stress, charge mentale) et sur les nuisances sonores. Pour atteindre cet objectif, un système de masquage acoustique du commerce a été sélectionné sur la base de critères techniques tels que la possibilité de générer un champ acoustique uniforme dans la pièce ou la possibilité d'ajuster automatiquement le niveau émis au niveau sonore environnant. Le système a été installé pendant plusieurs semaines dans un bureau ouvert d'une grande société bancaire française. Deux types de mesures ont été réalisés tout au long de la période de mise en œuvre du système. (1) Mesures objectives : les caractéristiques de performance acoustique de la pièce ont été mesurées (dégradation spatiale du niveau sonore - D2, S et DL2 - et temps de réverbération) ainsi que le bruit ambiant à différents moments de fonctionnement du système. (2) Mesures subjectives à l'aide de questionnaires. Ces mesures subjectives nous ont permis d'évaluer les effets du masquage sonore sur les différents états psychologiques susmentionnés. Les effets révélés par l'analyse des réponses au questionnaire seront présentés lors de la conférence.

Mots-clés : Masquage sonore, santé au travail, bien-être.

1. Introduction

L'environnement sonore est une source majeure d'inconfort pour les personnes qui travaillent dans un bureau ouvert [1, 2]. Cependant, tous les types de sources ne sont pas perçus de la même manière ; les conversations intelligibles entre personnes ou par téléphone sont généralement considérées comme les sources de bruit les plus gênantes. Pour réduire cet inconfort, il est donc im-

portant de minimiser l'intelligibilité de la parole. L'approche classique consiste à limiter la propagation dans la pièce au moyen d'installations acoustiques (traitement absorbant des plafonds, sols et murs et installation d'écrans acoustiques entre les postes de travail). Cependant, l'augmentation de l'absorption globale de la salle, qui conduit effectivement à une réduction du niveau des conversations, s'accompagne d'une réduction du bruit de fond, phénomène qui tend à limiter la réduction de l'intelligibilité. C'est pourquoi une deuxième approche, plus intrusive, est proposée par les acteurs de l'aménagement du bureau. Cette approche consiste à augmenter artificiellement le niveau de bruit de fond à l'aide de haut-parleurs répartis dans l'espace ouvert ; c'est le principe des systèmes de masquage sonore.

De nombreuses expériences en laboratoire ont été menées pour évaluer l'efficacité des systèmes de masquage. Toutes ces expériences ont montré que la performance associée à une tâche de mémoire à court terme augmentait et que la gêne ressentie diminuait lorsque le niveau de masquage augmentait [3-5]. Plus précisément, Liebl et al [6] ont souligné le fait que pour que le masquage sonore ait un effet significatif, il était nécessaire que le bruit de masquage ait un niveau plus élevé que celui de la parole à masquer, ce qui, reconnaissons-le, peut poser un problème dans le cas d'un espace ouvert dont le bruit ambiant (bruit dû aux conversations) est déjà autour de 50 dBA par exemple. Le spectre du signal de masquage joue également un rôle important dans l'inconfort ressenti. Veitch et al [7] et Hongisto et al [8] ont montré que les composantes de basse et de moyenne fréquence jouent un rôle déterminant dans le masquage de la parole et en particulier qu'un bruit de spectre de type vocal est le plus pertinent pour masquer un signal vocal. D'autres études ont examiné les effets du type de bruit de masquage (bruit blanc, conversations, bruit associé aux paysages) mais les résultats restent contradictoires à ce jour et ne font pas l'objet de cette étude [9-11].

Malgré la valeur de ces expériences, il faut souligner les limites qui les caractérisent. En particulier, le fait qu'elles évaluent l'inconfort sur une courte période de temps, alors que dans des situations réelles, les salariés sont exposés au bruit de masquage sur des périodes de temps non limitées. De plus, ce n'est pas seulement le sentiment d'inconfort qui doit être évalué, mais aussi d'autres composantes de l'état psychologique des employés comme la vigilance, la fatigue, la motivation, etc. Warnock et al [12], en utilisant des enquêtes menées dans un véritable bureau ouvert, ont obtenu que lorsque le bruit de masquage atteint un niveau de 51 dB(A), il rencontre une forte hostilité de la part des employés, alors que s'il a un niveau de 41 dB(A), il provoque un sentiment moins intense, bien que toujours négatif.

L'étude présentée dans ce document vise donc à évaluer l'efficacité d'un système de masquage en conditions réelles sur une période d'utilisation de plusieurs mois. Pour ce faire, un système de masquage a été sélectionné en fonction de critères tels que sa capacité à créer un spectre de masquage des bruits de parole, sa capacité à s'adapter automatiquement au niveau de bruit ambiant et sa capacité à obtenir un champ uniforme dans la pièce. Les performances acoustiques de la pièce ont été mesurées (temps de réverbération, décroissance spatiale, STI Index de transmission de la parole, etc.) avant l'installation du système et des mesures du bruit ambiant en présence de personnes durant une journée de travail avant et pendant le fonctionnement du système ont été effectuées. Des mesures subjectives ont aussi été conduites à l'aide de plusieurs questionnaires avant l'installation, pendant le fonctionnement et après l'arrêt du système. L'analyse porte sur les effets du système sur la perception qu'ont les employés de l'environnement de travail, leur état psychologique et leur charge de travail mental.

2. Environnement de travail

L'entreprise qui a collaboré à l'étude est un acteur majeur du secteur bancaire français. Une photo du plateau sélectionné est donnée figure 1. Il est situé dans un bâtiment composé de plu-

sieurs étages, chacun composé de plusieurs bureaux ouverts. Le bâtiment est ancien (années 1970) et n'a pas été rénové. Le mobilier est récent (figure 1) ; il se compose de postes de travail, séparés par des cloisons absorbantes de 1,30 m de haut. Le plafond est traité acoustiquement avec des dalles absorbantes de 2 cm d'épaisseur avec, au-dessus, un plénum de 1 m.

La surface du plateau est d'environ 500 m², le nombre maximum de postes de travail est de 82 (voir figure 2). L'activité est principalement une activité de gestion de dossier clients. Des conversations téléphoniques avec des clients dont les cas sont problématiques sont également possibles. Cette activité nécessite donc une forte concentration. L'observation faite par les agents de prévention sur ce plateau est que les employés se plaignent du niveau de bruit et de l'intelligibilité des conversations.



Figure 1 : Photo de l'aménagement de la zone de travail

3. Système de masquage

Le système de masquage se compose de 4 modules, chacun contrôlant une zone de la pièce (Figure 2). Chaque module se compose de 6 haut-parleurs (5 pour la zone jaune) et d'un microphone. Le niveau envoyé à tous les haut-parleurs d'une zone est le même. Il est réglé en continu avec une vitesse de 0,5 dB toutes les 15 secondes en fonction du niveau dans la zone (mesuré avec le microphone de la zone considérée). Le niveau émis par les haut-parleurs est limité entre 40 dBA et 46 dBA.

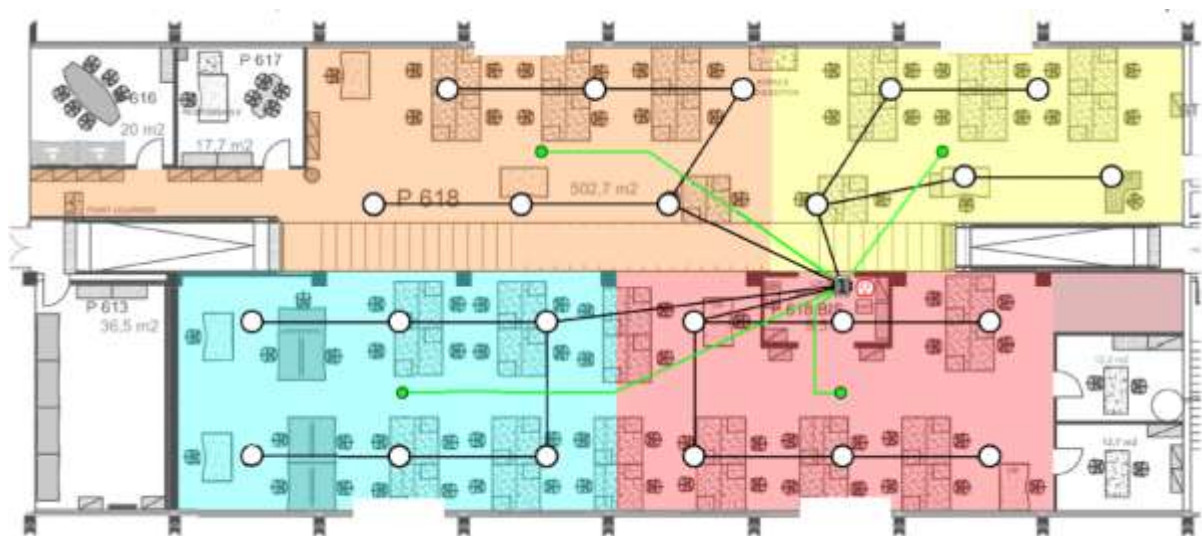


Figure 2 : Plan du bureau ouvert. Chaque couleur représente une zone contrôlée par un module différent du système de masquage. Un module se compose de 6 haut-parleurs (5 pour la zone jaune), représentés par un cercle blanc et 1 microphone représenté par un cercle vert.

4. Protocole de mesure

Afin d'évaluer les effets réels du système de masquage sur les employés, deux types de mesures ont été réalisées :

- des mesures objectives (acoustiques) pour évaluer les propriétés acoustiques du plateau,
- des mesures subjectives au moyen de questionnaires sélectionnés avec la collaboration de psychologues du travail.

Les mesures acoustiques ont été effectuées, alors que le bureau était vide, pour caractériser sa qualité acoustique et aussi en fonctionnement (en présence de personnes) pour caractériser l'environnement sonore de travail. Les mesures subjectives ont été effectuées sur plusieurs jours, le système de masquage activé ou désactivé, et au début et à la fin de la journée de travail, selon un protocole décrit plus loin dans ce document.

4.1 Mesures acoustiques

Les mesures physiques peuvent être divisées en deux catégories : les mesures dans les pièces vides, qui déterminent la performance acoustique intrinsèque de la pièce et les mesures prises en présence de personnes.

La performance acoustique de l'espace de travail a été évaluée à l'aide d'indicateurs décrits dans les normes acoustiques françaises ou internationales. Le temps de réverbération a été mesuré en différents points de la pièce conformément à la norme NF EN ISO 3382-2 [13], les décroissances spatiales ont été réalisées selon la norme NF S31-080 [14] pour DL2 et NF EN ISO 3382-3 [15] pour D2S. Le bruit de fond est le bruit dans l'espace ouvert vide mais dont l'équipement (ventilation, ordinateurs, etc.) est en fonctionnement. Toutes ces mesures ont été réalisées en dehors des heures de travail sur le plateau.

Le bruit ambiant est le bruit moyen dans un espace ouvert en présence de personnes. La mesure est effectuée selon la norme NF S31-199 [16] qui recommande un taux d'occupation d'au moins 75%.

4.2 Mesures subjectives

Des mesures subjectives ont été effectuées en plusieurs étapes pendant le fonctionnement du système de masquage. Chaque fois, plusieurs questionnaires ont été proposés aux employés de l'espace ouvert :

- Le questionnaire de Bond et Lader [17] évalue la somnolence à l'aide d'échelles visuelles analogiques, dont chacune exige que les répondants positionnent leur perception entre deux adjectifs antinomiques tels que "mou" et "énergique". L'un des intérêts de ce questionnaire est d'être très court et donc de permettre une évaluation de la somnolence tout au long de la journée de travail.
- Le questionnaire de Thayer [18] mesure la vigilance et la tension sur une échelle de Likert. Il s'agit d'une série de qualificatifs, tels que "actif" ou "calme". La personne interrogée doit indiquer si chaque adjectif est représentatif de son ressenti. Le questionnaire de Thayer est également très court (environ 1 min). Il permet ainsi d'observer l'évolution de la vigilance et de la tension pendant la journée de travail.

Le questionnaire GABO développé par Pierrette et al [19] évalue non seulement la gêne causée par l'environnement sonore mais aussi celle causée par d'autres facteurs environnementaux tels que l'éclairage, l'aménagement de l'espace de travail ou la température. Il pose également des questions sur la sensibilité au bruit en général [20]. Il faut environ dix minutes pour remplir ce questionnaire. Il n'est soumis qu'une seule fois dans la journée.

Une version réduite du questionnaire GABO, contenant des éléments d'évaluation de la gêne due à l'environnement sonore, a également été créée afin de mesurer l'évolution de la gêne pendant la journée de travail. Il faut environ 3 minutes pour remplir ce questionnaire.

Le questionnaire MFI (Multidimensional Fatigue Inventory) est une évaluation multidimensionnelle de la fatigue perçue basée sur des échelles de Likert à 5 points, validées par Gentile et al. (2003) pour la version française. Ce questionnaire était présenté deux fois par jour, au début et à la fin de la journée de travail.

La charge de travail mental perçue est mesurée à l'aide du questionnaire de Galy et al [21-22]. La charge de travail mental est la contrainte psychologique générée par tous les facteurs suivants :

- toutes les opérations mentales effectuées par un travailleur au cours de son activité professionnelle. Il s'agit notamment des efforts de concentration, de compréhension, d'adaptation, d'attention aux détails et d'exécution des tâches de traitement de l'information,
- l'ensemble des pressions psychologiques auxquelles un travailleur est soumis. Celles-ci peuvent être dues notamment aux exigences de rapidité ou de qualité d'exécution ou à l'obligation d'obéir à la hiérarchie.

Il faut environ dix minutes pour remplir ce questionnaire. Comme la charge de travail perçue change lentement, il n'est pas nécessaire de la mesurer plusieurs fois au cours de la journée de travail.

Pour pouvoir analyser l'évolution quotidienne de la fatigue perçue, il est nécessaire de tenir compte de la typologie circadienne des personnes interrogées. Ceci a été fait à travers le questionnaire Horne et Ösberg [23] qui consiste en une vingtaine de questions sur la condition physique imaginée par des personnes dans différentes situations théoriques. Il faut environ dix minutes pour remplir ce questionnaire. Comme l'évolution de la typologie circadienne d'un individu est très lente, une seule mesure est nécessaire sur la durée totale de l'expérience.

4.3 Phases de l'expérience

La performance acoustique de la pièce a été mesurée au tout début de l'expérience avant les mesures subjectives. Les mesures du bruit ambiant (en activité) ont également été prises à cette époque, c'est-à-dire avant l'installation du système de masquage, mais aussi en présence du système de masquage. L'expérience a été divisée en six phases :

Phase 1 : Avant l'installation du système de masquage dans l'espace ouvert, un état de référence a été mesuré sur les sujets avec tous les questionnaires.

Phase 2 : Le système a été installé et calibré. Aucun questionnaire n'a été soumis au cours de cette phase.

Phase 3 : Avant la mise en marche du système, un deuxième état de référence a été mesuré. En effet, l'installation du système peut altérer le premier état de référence par un phénomène appelé désirabilité sociale. Cet effet est dû au fait que les employés attendent des effets, nuisibles ou non, du système.

Phase 4 : Le système a été mis en service. Le niveau émis par les haut-parleurs augmente linéairement pendant deux semaines jusqu'à ce qu'il atteigne son niveau nominal de 43 dBA afin d'habi-

tuer progressivement les gens au bruit. Aucun questionnaire n'a été soumis au cours de cette phase.

Phase 5 : Le système de masquage a été en fonctionnement nominal pendant une période de 14 semaines, y compris deux semaines de vacances. Les questionnaires ont été soumis trois fois durant cette phase (début, mi-période et fin).

Phase 6 : Le système de masquage a été arrêté et cinq semaines plus tard, les questionnaires ont été soumis de nouveau aux employés.

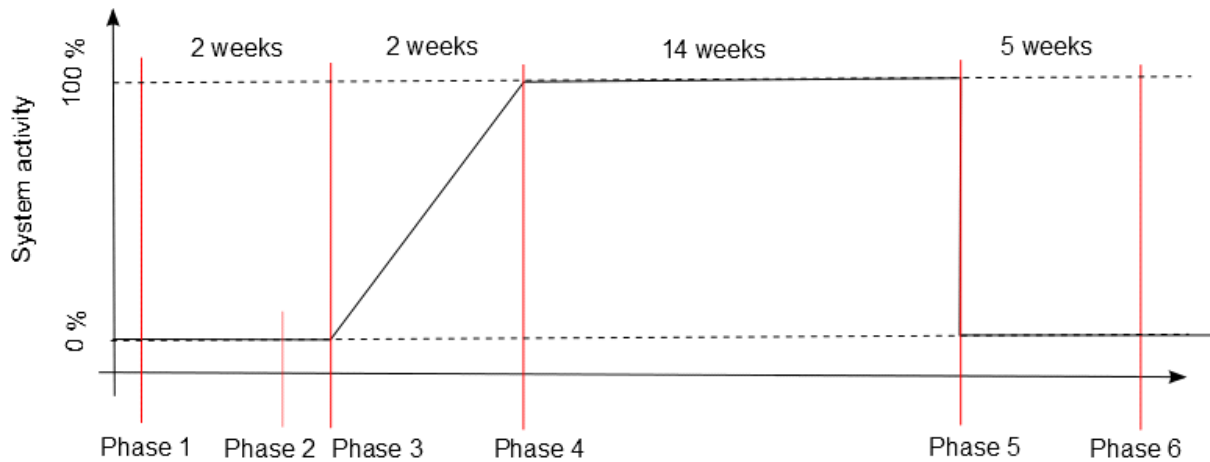


Figure 3 : Déroulement de l'expérience

4.4 Résultats

Les réponses aux questionnaires ont été analysées à l'aide de méthodes statistiques du type ANOVA répétée. Les analyses ont été faites en comparant les réponses entre les différents moments de la journée et entre les différentes configurations du système de masquage (marche ou arrêt).

L'analyse des mesures acoustiques permet également de fournir des informations sur la qualité acoustique de la pièce et la disposition utile à l'interprétation des résultats. Tous les résultats et une discussion seront présentés au cours de la conférence.

[NOTE : présentation power-point disponible]

4.5 RÉFÉRENCES

- 1 Boyce, P. R. Users' assessments of a landscaped office, *Journal of Architectural Research*, 44-62, (1974).
- 2 Keighley, E. C., and P. H. Parkin. *Subjective response to the noise climate of landscaped offices*, Watford, Building Research Establishment Technical Report, (1981)
- 3 Haka, M., A. Haapakangas, J. Keränen, J. Hakala, E. Keskinen, and V. Hongisto. Performance effects and subjective disturbance of speech in acoustically different office types - a laboratory experiment, *Indoor Air*, 19, 454-467, (2009)
- 4 Ebissou, A., E. Parizet and P. Chevret. Use of the Speech Transmission Index for the assessment of sound annoyance in open-plan offices, *Applied Acoustics*, 88, 90-95, (2015)
- 5 Schlittmeier S, Hellbrück J, Thaden R and Vorländer M. The impact of background speech varying in intelligibility: Effects on cognitive performance and perceived disturbance. *Ergonomics*, 51(5), 719-36 (2008)

- 6 Liebl, A., A. Assfalg, and S. Schlittmeier. The effects of speech intelligibility and temporal-spectral variability on performance and annoyance ratings, *Applied Acoustics*, 110, 170-175 (2016)
- 7 Veitch, J., J. Bradley, L. Legault, S. Norcross, and J. Svec. *Masking Speech in Open-Plan Offices with Simulated Ventilation Noise: Level and Spectral Composition on Acoustic Satisfaction*, Tech. rep., National Research Council Canada (2002)
- 8 Hongisto, V., D. Oliva, and L. Rekola. Subjective and objective rating of spectrally different pseudo random noises - Implications for speech masking design, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137, 1344-1355 (2015)
- 9 Zaglauer, M., H. Drotleff, and A. Liebl. Background babble in open-plan offices: A natural masker of disruptive speech? *Applied Acoustics*, 118, 1-7, (2017)
- 10 Yadav, Cabrera, Kim, and Dear. Auditory distraction in open-plan office environment: The effect of multi-talker acoustics, *Applied Acoustics*, 126, 68-80 (2017)
- 11 van de Poll, M. Keus, et al. Unmasking the effects of masking on performance: The potential of multiple-voice masking in the office environment, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138, 807-816 (2015).
- 12 Warnock, A., T. Northwood, D. Henning, and L. Hegvold, Study of the Acoustical Performance of a Landscaped Office, *Acoustical Society of America* (1972)
- 13 ISO 3382-2, Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms (2008)
- 14 NF-S31-080 (In French), Acoustics - Offices and associated areas - Acoustic performance levels and criteria by type of space (2006)
- 15 ISO 3382-3, Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 3: Open plan offices (2012)
- 16 NF-S31-199 (In French) Acoustics - Acoustic performance of open office spaces (2016)
- 17 Bond A, Lader M. The use of analogue scales in rating subjective feelings. *Psychology and Psychotherapy: Theory, Research and Practice*, 47(3),211-8, (1974)
- 18 Thayer RE. Activation-deactivation adjective check list: Current overview and structural analysis. *Psychological reports*, 58(2), 607-14, (1986)
- 19 Pierrette M, Parizet E, Chevret P, Chatillon J. Noise effect on comfort in open-space offices: development of an assessment questionnaire, *Ergonomics*, 58(1), 96-106, (2015)
- 20 Perrin Jegen N, Chevret, P. Effect of noise on comfort in open-plan offices: application of an assessment questionnaire, *Ergonomics*, 1-12, (2016)
- 21 Galy E, Cariou M, Mélan C. What is the relationship between mental workload factors and cognitive load types? *International Journal of Psychophysiology*, 83(3), 269-75, (2012)
- 22 Galy E, Mélan C. Effects of cognitive appraisal and mental workload factors on performance in an arithmetic task, *Applied psychophysiology and biofeedback*, 40(4), 313-25, (2015)
- 23 Horne JA, Östberg O. A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms, *International journal of chronobiology*, (1976)