

Étude de cas

SYSTÈMES DE MASQUAGE SONORE EN OPEN SPACE : UNE EFFICACITÉ DISCUTABLE

PATRICK CHEVRET,
LUCAS LENNE
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

→ **LA PROBLÉMATIQUE :** En 2018, l'INRS a émis un communiqué de presse¹ pour alerter les entreprises sur l'utilisation des systèmes de masquage sonore dans les *open space*. En effet, des informations erronées circulaient sur l'efficacité de ces systèmes. Ce communiqué de presse ne présentait pas de justifications techniques, même s'il pointait vers des études réalisées par l'INRS.

Actuellement, il existe un regain d'informations sur les systèmes de masquage sonore, notamment auprès des décideurs ou des acheteurs en entreprises. Or, les données qui circulent sont souvent le fruit d'interprétations de résultats de publications existantes. L'INRS présente ici un argumentaire basé sur la littérature scientifique afin d'expliquer pourquoi il ne recommande pas ces systèmes.

→ LA RÉPONSE DE L'INRS

Une étude de l'INRS [1], basée sur des enquêtes auprès d'un millier de répondants travaillant dans une trentaine de bureaux ouverts d'entreprises françaises, a montré qu'un salarié sur deux déclare être gêné ou très gêné par le bruit ambiant : 51 % par les bruits de parole intelligible (cf. Encadré), 37 % par le bruit des conversations non intelligibles, 31 % par les bruits de passages, 34 % par les bruits de machines et 35 % par les sonneries de téléphone. La parole intelligible est donc perçue comme la source de bruit la plus gênante dans les bureaux ouverts.

Pour réduire la nuisance sonore due aux conversations intelligibles, des fabricants proposent d'installer dans les bureaux des systèmes de masquage sonore dont le principe est d'émettre, à l'aide de haut-parleurs, un bruit additionnel pour « couvrir » les conversations intelligibles. L'effet attendu est d'améliorer la confidentialité au poste de travail et de réduire la gêne et la distraction induites par un poste sur les postes voisins. Cet article se propose de faire un point sur le principe du masquage sonore, de faire une synthèse de ses effets sur l'intelligibilité de la parole et sur les effets extra-auditifs des bruits de conversation, et d'analyser l'intérêt de son utilisation dans les bureaux ouverts.

ENCADRÉ

L'INTELLIGIBILITÉ : ÉLÉMENTS DE COMPRÉHENSION

L'« intelligibilité » désigne le degré de compréhension d'un message verbal ou d'une forme de parole (selon le dictionnaire Larousse). Dans le questionnaire Gabo, la notion de « conversation intelligible » n'est pas précisément définie. C'est au répondant d'indiquer s'il entend des conversations qu'il juge intelligibles et d'indiquer à quel point elles le gênent. Exemples de questions :

- À votre poste de travail, vous entendez et vous comprenez clairement les conversations de vos collègues :
(jamais -> en permanence)
- Vous diriez que ce bruit est gênant :
(pas du tout -> tout à fait)
- À votre poste de travail, vous entendez des conversations de collègues que vous ne pouvez pas comprendre :
(jamais -> en permanence)
- Vous diriez que ce bruit est gênant :
(pas du tout -> tout à fait).

Principe du masquage sonore

Le masquage sonore est un phénomène acoustique que chacun a pu expérimenter au quotidien. Un exemple est celui de deux promeneurs conversant tout en approchant d'une chute d'eau. Alors qu'ils en sont encore éloignés, le bruit de l'eau est modéré et agit sur eux comme une sensation plutôt agréable, la conversation est aisée. Au fur et à mesure qu'ils se rapprochent, le niveau sonore augmente et couvre les conversations. Afin de pouvoir se comprendre, ils sont obligés de produire un effort vocal supplémentaire. Au pied de la chute d'eau, très bruyante, il leur est impossible de s'entendre malgré l'effort vocal important ; le niveau sonore devient même insupportable. Cet exemple illustre toute l'étendue de perceptions possibles que peut offrir un simple bruit selon qu'il

couvre ou non une conversation : d'une sensation agréable à une sensation désagréable, en passant par la perte d'intelligibilité.

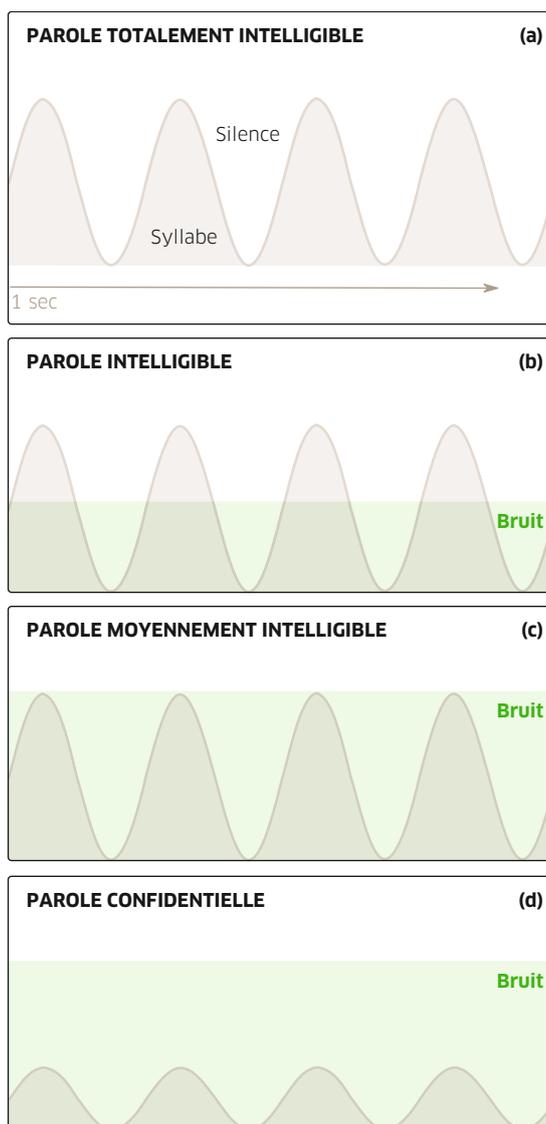
Les systèmes de masquage reprennent l'idée de la chute d'eau en émettant un bruit artificiel qui vise à réduire l'intelligibilité des conversations, sans pour autant devenir gênant. De façon très simplifiée, cette réduction d'intelligibilité peut s'expliquer physiquement comme une interaction énergétique entre le bruit de parole et le bruit de masquage². La Figure 1 illustre cette interaction pour un signal de parole composé de quatre syllabes de même énergie. Sur la Figure 1a, il n'y a pas de bruit, les syllabes se détachent distinctement les unes des autres ; la conversation est clairement intelligible. Sur la Figure 1b, du bruit est présent avec une énergie égale à celle de la parole mais les syllabes émergent clairement de celui-ci ; la parole est encore intelligible. Lorsque l'énergie du bruit est deux fois supérieure à celle de la parole (Cf. Figure 1c), elle n'est alors que moyennement intelligible. Elle devient totalement inintelligible lorsque l'énergie du bruit est très supérieure à celle du bruit de parole (Cf. Figure 1d), ce qui est le cas lorsque les promeneurs de notre exemple se trouvent à proximité de la chute d'eau.

Effets objectifs du masquage sur l'intelligibilité

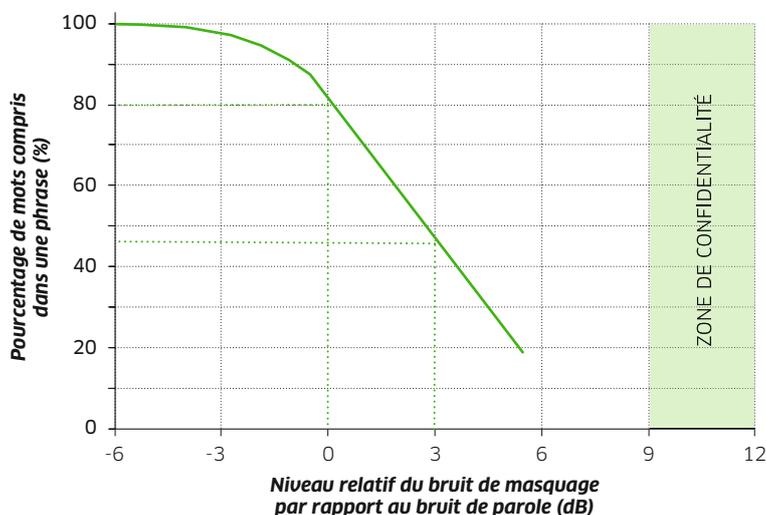
La littérature scientifique permet d'objectiver le lien entre l'intelligibilité de la parole et le niveau relatif du bruit de masquage (différence entre le niveau de masquage et le niveau de la parole). La courbe de la Figure 2, produite à partir des données de la norme NF EN IEC 60268 16 (2020) [2], représente le nombre de mots généralement compris dans une phrase en fonction du niveau relatif de masquage. Il apparaît que lorsque ce dernier est proche de zéro (cas de la Figure 1b), le nombre de mots compris est de l'ordre de 80 %, ce qui correspond à une bonne intelligibilité. Lorsqu'il est égal à 3 dB (cas de la Figure 1c), le nombre de mots compris est de l'ordre de 50 % ; il est possible mais difficile de comprendre ce que dit le locuteur. Enfin, lorsqu'il est supérieur à 9 dB (Cf. Figure 1d), la parole du locuteur est alors totalement inintelligible. Un tel niveau de masquage permet d'assurer la confidentialité de la conversation.

Masquage sonore et effets extra-auditifs du bruit de parole

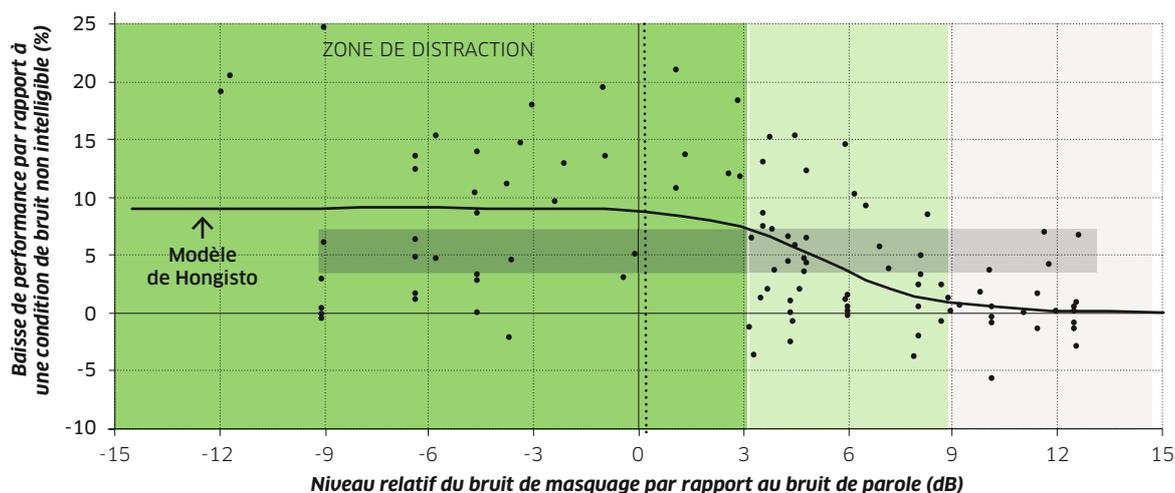
Un exemple d'effet extra-auditif du bruit de conversation : nous lisons et une conversation s'installe à côté de nous. Nous sommes alors distraits par celle-ci et perdons rapidement le fil de notre lecture, car les processus cognitifs engagés pour la lecture sont perturbés par le fort degré d'intelligibilité de la conversation. Si cette conversation est elle-même masquée par un bruit de fond,



← FIGURE 1 Masquage d'un signal de parole (en beige) : par du bruit, (en vert) ; sans bruit (a) ; l'énergie du bruit est sensiblement égale à celle de la parole (b) ; l'énergie du bruit est égale à 2 fois celle de la parole (c) ; l'énergie du bruit est très supérieure à celle de la parole (d).



↑ FIGURE 2 Intelligibilité en fonction du niveau relatif de bruit de masquage (selon la norme NF EN IEC 60268-16 [2]).



↑ FIGURE 3 Baisse de performance par rapport à une condition de référence (silence ou bruit de ventilation) lors de la réalisation d'une tâche, en fonction du niveau de masquage relatif. Les points sont produits à partir des données de Haapakangas et al. [3]. La ligne continue représente le modèle ajusté de Hongisto. La zone verte correspond aux conditions sonores pour lesquelles le bruit est gênant/distrayant pour les participants ; la zone vert clair, aux conditions pour lesquelles la gêne/distraction décroît significativement ; la zone beige, aux conditions pour lesquelles le bruit masquant permet d'assurer la confidentialité des conversations.

une chute d'eau par exemple, nous serons alors moins gênés et parviendrons à lire plus facilement, même si un effort mental reste nécessaire. Des expériences en laboratoire ont été réalisées dans le but d'objectiver l'effet sur la gêne de l'utilisation d'un bruit masquant une parole perturbatrice. En général dans ces expériences, la gêne est évaluée *via* la performance lors de la réalisation d'une tâche simple (mémoire sérielle³, lecture, calcul mental, etc.). Plus précisément, ces études évaluent la différence de la performance (ou décrement de performance) entre une condition sonore donnée (parole plus ou moins masquée) et une condition de référence (soit le silence soit un bruit continu de type ventilation). La Figure 3 est une compilation des résultats de ces expériences, réalisée en 2020 par Haapakangas *et al.* [3]. Cette compilation montre une grande dispersion des résultats⁴. Il est possible de lire notamment qu'un niveau de masquage relatif allant de -9 dB à +12 dB peut entraîner une baisse de performance de l'ordre de 5 % selon les expériences (zone grisée sur la figure). Malgré cette dispersion, un modèle de prédiction de la baisse de performance a été proposé par Haapakangas *et al.* (modèle ajusté de Hongisto [3], en trait continu sur la Figure 3). À partir de ce modèle, les auteurs ont défini une valeur de niveau de masquage relatif à partir de laquelle la performance commence à baisser significativement. Cette valeur a été fixée à 3 dB⁵. À noter que cette valeur de 3 dB correspond à 50 % d'intelligibilité d'après la Figure 2. D'une manière générale, une exposition longue à un bruit modéré se traduit par un ensemble de symptômes tels qu'une fatigue mentale accrue, du stress, des troubles du sommeil, des troubles cardiovasculaires [4]. Ainsi, une exposition longue à

des bruits de parole ne se limite pas à une simple gêne et à de la distraction.

Plusieurs études en laboratoire, notamment celles de Kostallari en 2019 [5] et de Lenne en 2022 [6], ont montré que la fatigue cognitive et la charge mentale augmentaient avec une exposition prolongée à de la parole intelligible, mais à ce jour toute quantification de ces effets en fonction du niveau d'intelligibilité est impossible à établir.

Application aux bureaux ouverts

Une diminution de l'intelligibilité se traduit *in fine* – de manière incertaine du fait de la dispersion des données de la Figure 3 – par une baisse de gêne et de fatigue cognitive. Cependant l'application de ce phénomène aux bureaux ouverts, en utilisant des technologies de masquage sonore, pose plusieurs questions qui sont souvent éludées par les concepteurs :

- Le principe du masquage sonore est-il pertinent pour toutes les activités de travail ?
- Existe-t-il des recommandations pour le dimensionnement et l'installation d'un système de masquage sonore (niveaux sonores, signature acoustique, critère d'uniformité spatiale) ?
- Existe-t-il des recommandations pour la maintenance et le suivi de la conformité aux performances annoncées de tels systèmes ?
- Un système de masquage, peut-il se substituer à une action de correction du local basée sur des traitements utilisant des matériaux acoustiques ?

Le principe du masquage sonore est-il pertinent pour toutes les activités de travail ?

La réponse est « non ». Le masquage sonore est utilisé pour rendre les conversations environnantes

inintelligibles. Il n'a donc de sens que lorsque les conversations ne servent pas à véhiculer une information utile entre les collaborateurs, comme sur un plateau où l'activité est en majorité non collaborative : centres d'appels ou services administratifs. Pour les activités où une bonne intelligibilité est nécessaire pour communiquer, le masquage sonore va contribuer à une augmentation du niveau sonore ambiant à cause de l'effet Lombard⁶ avec le risque d'engendrer de la fatigue cognitive. Par ailleurs, lorsqu'un plateau regroupe plusieurs activités, le système de masquage doit être sélectif, c'est-à-dire être efficace à l'endroit des activités non collaboratives et discret dans les zones d'activités collaboratives.

Existe-t-il des recommandations pour le dimensionnement et l'installation d'un système de masquage sonore ?

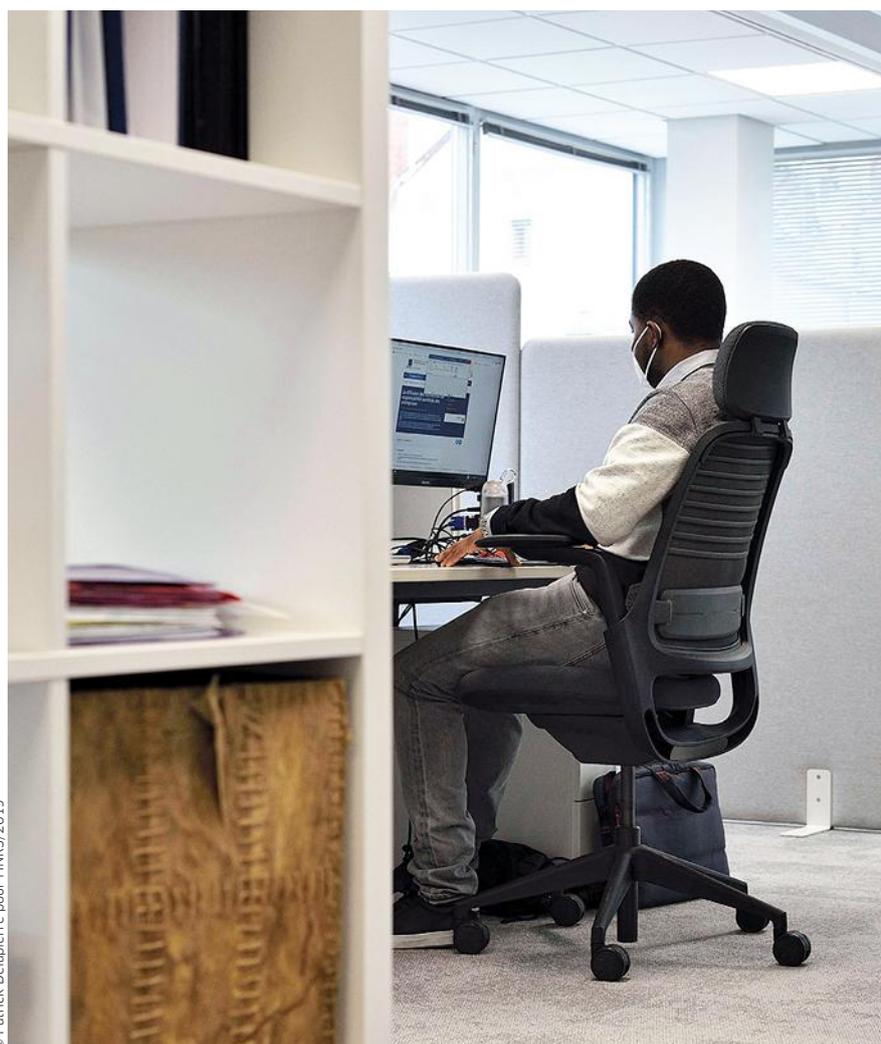
À ce jour, seul le guide américain ASTM E1374 de 2018 [7] fournit des recommandations sur le dimensionnement des systèmes de masquage pour les bureaux ; mais ces recommandations sont très générales. Le système doit :

- être composé d'un générateur de son aléatoire (typiquement un « bruit blanc », continu ou répétitif, similaire au bruit d'une radio réglée sur une fréquence inutilisée), d'un égaliseur (permettant d'ajuster la balance des fréquences), d'un amplificateur (permettant de régler le niveau sonore) et de haut-parleurs ;
- permettre de réaliser un niveau sonore uniforme dans l'espace de travail sans impacter la possibilité de communiquer ;
- permettre d'obtenir un niveau sonore minimum aux postes de travail ;
- inclure une phase d'acclimatation des occupants après la mise en marche du système.

Ces recommandations mettent en lumière trois points, décrits ci-après, et qui nécessitent une vigilance particulière.

→ Le niveau sonore de masquage

Le guide recommande un niveau sonore minimum, mais ne précise aucune valeur. Il ne recommande pas non plus de niveau « plafond » au-dessus duquel le bruit de masquage pourrait devenir gênant pour les salariés. Les résultats d'études sur le terrain [8] et en laboratoire [9-10] indiquent que les niveaux sonores de masquage supérieurs à 45 dB(A) sont à considérer comme trop forts. En effet, ils peuvent stimuler l'effet Lombard, les personnes haussant la voix lorsqu'elles parlent en réaction au niveau sonore ambiant élevé. Ces niveaux peuvent aussi entraîner de la fatigue [11] et réduire les performances des salariés [12], surtout en cas de prépondérance des basses fréquences. Sur la base de ces résultats, une



© Patrick Delapierre pour l'INRS/2019

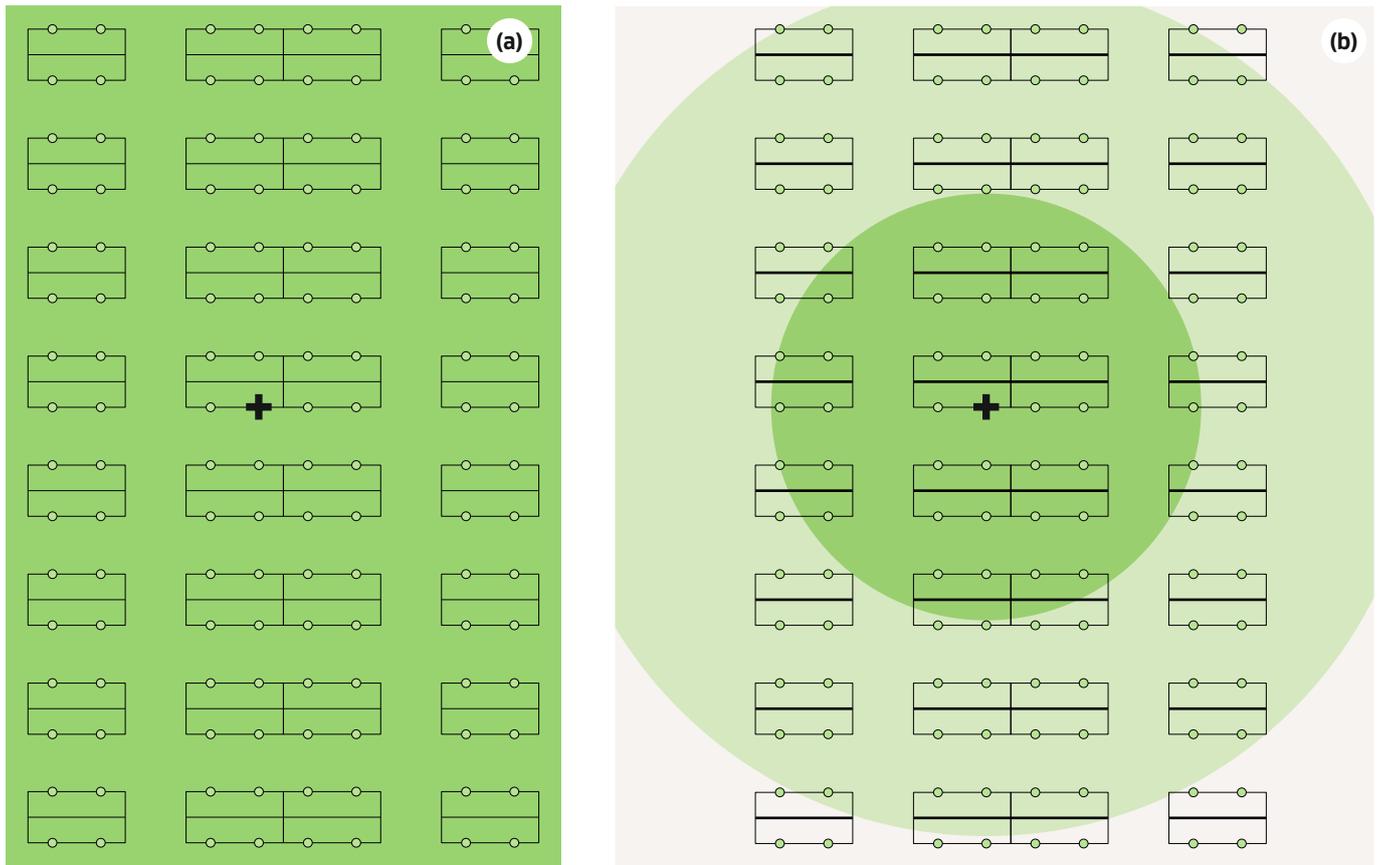
recommandation pourrait donc être que le niveau sonore de masquage ne dépasse pas 45 dB(A)⁷.

→ La signature spectro-temporelle du signal de masquage

Les systèmes de masquage du commerce ne proposent pas tous le même type de signal de masquage. La répartition fréquentielle de l'énergie sonore a un effet sur la perception mais aucun critère n'est clairement établi à ce jour.

D'après Hongisto *et al.* [13], les sons avec une prédominance en basses et moyennes fréquences sont préférés par les salariés. À l'inverse, Lenne *et al.* [11] ont montré que des salariés exposés pendant plusieurs semaines à un système de masquage du commerce émettant un spectre à prédominance en basses et moyennes fréquences ne ressentaient aucun bénéfice et étaient même gênés par les composantes basses fréquences, les associant à du bruit de machine. La structure temporelle du signal de masquage doit aussi interroger : certains fabricants préconisent un signal dont le niveau s'adapte, en temps réel, au niveau de bruit ambiant (plus





↑ FIGURE 4 Illustration des zones de gêne/distraction pour une source sonore placée au centre d'un plateau. Conformément à la Figure 3, la zone verte représente la zone de distraction, la zone vert clair à la zone de baisse significative de la gêne, la zone beige à la zone de confidentialité. a) plafond de mauvaise qualité et cloisonnettes de hauteur 110 cm ; b) plafond de bonne qualité acoustique et cloisonnettes de hauteur 150 cm.

fort lorsque le bruit ambiant est fort, et plus faible dans le cas contraire, tout en restant inférieur à une valeur « plafond »[14], d'autres utilisent un signal stationnaire. La plupart des fabricants utilisent des bruits artificiels de type « bruit blanc » ; certains proposent également des systèmes qui diffusent des signaux imitant des sons naturels (bruit de cours d'eau, de forêt, etc.), arguant qu'ils sont mieux acceptés que les bruits artificiels. Les bénéfiques supposés de ce type de restitution sonore présentent un caractère très subjectif car ils reposent davantage sur des considérations individuelles ou culturelles.

Le guide ASTM E1374 [7] reste sur la recommandation d'un signal de masquage aléatoire (bruit blanc, par exemple). Il recommande également une phase d'augmentation progressive du niveau sonore de plusieurs jours après sa mise en marche afin que les personnes s'habituent au bruit émis. Cela suggère implicitement que l'utilisation de ce système peut causer une gêne, au moins dans les premiers temps d'utilisation.

→ L'uniformité spatiale du champ acoustique

Le guide ASTM [7] recommande des systèmes constitués d'un générateur de son aléatoire, d'un

amplificateur, d'un égaliseur et de plusieurs haut-parleurs installés, en général, dans le faux plafond du local et orientés de sorte à garantir l'uniformité spatiale en niveau et en fréquences. En laboratoire, dans une salle anéchoïque⁹ par exemple, il est assez facile de contrôler le niveau sonore et le spectre au voisinage des oreilles d'une personne. En entreprise, le champ sonore dépend fortement de l'aménagement intérieur. Le nombre et la position des haut-parleurs doivent être définis au cas par cas à l'aide d'une étude prévisionnelle avant l'installation du réseau. Une vérification et un ajustement sur site sont aussi nécessaires après installation⁹. En cas de modification significative de l'aménagement, une vérification des niveaux sonores aux postes de travail doit être effectuée. Si les niveaux ont changé par rapport à la configuration initiale, une nouvelle étude prévisionnelle doit être réalisée et une modification des niveaux et de la disposition des haut-parleurs doit être envisagée.

À noter que certains fabricants proposent des systèmes individuels contrôlables par le salarié qui ne dispose généralement pas de connaissances sur la complexité des effets extra-auditifs du bruit. Par exemple, il peut vouloir augmenter le niveau de masquage pour son propre « bénéfice » et créer

une gêne pour ses voisins. De plus, ces systèmes ne permettent pas de garantir l'uniformité du champ ; ils ne s'inscrivent donc pas dans le champ des recommandations du guide ASTM.

Existe-t-il des recommandations pour la maintenance et le suivi de la conformité aux performances annoncées ?

Comme tout système électronique, une dérive, voire un dysfonctionnement peut apparaître avec le temps. Il est donc indispensable de procéder à un contrôle en continu du système, au moyen de microphones à demeure ou *a minima* d'une vérification régulière dont la fréquence reste à déterminer. En cas d'ajustements nécessaires, un logiciel de prévision acoustique sera d'une grande utilité. Ce qui devra être également le cas si l'aménagement intérieur est modifié car la répartition du champ sonore dépend de ce dernier. Il est aussi nécessaire de prévoir une mise en sécurité en cas de défaillance du système.

Un système de masquage peut-il se substituer à une action de correction du local basée sur des traitements utilisant des matériaux acoustiques ?

En aucun cas, et cela peut s'expliquer à l'aide du modèle de Hongisto [3]. Selon ce dernier (avec toutes les réserves émises précédemment), le masquage a un effet significatif sur la gêne ressentie si son niveau sonore est supérieur d'au moins 3 dB à celui du niveau de la parole. Sachant que le niveau de masquage ne doit pas dépasser 45 dB(A), il ne sera efficace que pour des bruits de parole de niveau sonore inférieur à 42 dB(A). Un tel niveau n'est atteignable, pour un effort vocal normal, que lorsque le local est très bien traité acoustiquement (ce qui tend alors à rendre le masquage sonore inutile).

Les illustrations de la *Figure 4* permettent de mieux se représenter l'efficacité attendue d'un système de masquage sur un plateau. Deux situations de bureau avec un bruit de masquage à 45 dB(A) sont représentées : un plateau (vu de dessus) avec un plafond de mauvaise qualité et des séparations de faible hauteur entre les postes de travail (110 cm depuis le sol) ; le même plateau avec un plafond de bonne qualité acoustique et des cloisonnettes de bonne hauteur (150 cm depuis le sol). Sur les illustrations, chaque cercle de couleur autour de la source de parole (croix noire) correspond à une zone de la *Figure 3* : zone verte pour la zone de distraction, zone vert clair pour la zone de baisse significative de la gêne, zone beige pour la zone de confidentialité. Dans le cas où les cloisonnettes sont de faible hauteur (Cf. *Figure 4a*), la zone de distraction s'étend à tout le local, le système de masquage ne parvient pas à réduire la gêne liée à la source sonore. Dans le cas où le plafond est de bonne qualité et où les cloisonnettes sont élevées

(Cf. *Figure 4b*), le système de masquage « protège » au-delà d'une distance de 5 mètres du locuteur (zones vert clair et beige). Pour les postes voisins, il n'apporte rien.

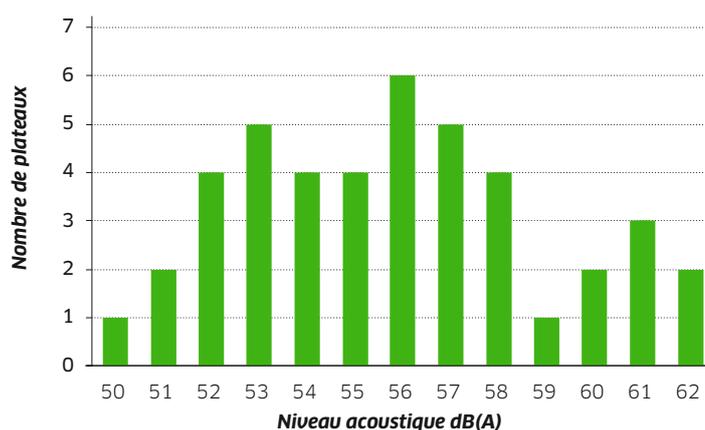
Comme le montre la *Figure 5*, les niveaux de bruit ambiant en activité mesurés par l'INRS depuis 2010 ont toujours été nettement supérieurs à 45 dB(A). Il est donc très probable que le bruit de masquage soit la plupart du temps couvert par le bruit ambiant du bureau.

En conclusion, l'efficacité du masquage sonore est réduite aux plateaux très bien traités acoustiquement. Il n'apporte rien lorsque le niveau de bruit ambiant est supérieur à 45 dB(A), ce qui correspond à la plupart des situations.

Conclusion

Depuis quelques années, on voit apparaître dans les bureaux ouverts en France des systèmes de masquage dont l'objectif est d'améliorer la confidentialité aux postes de travail et de réduire la distraction et la gêne induites par un poste de travail sur les postes qui l'entourent. Les technologies proposées sont dépendantes des fabricants car, excepté les recommandations générales du guide américain ASTM E1374 [7], il n'existe aucune recommandation précise concernant les données de fonctionnement, l'installation et le suivi. Par ailleurs, il n'existe à ce jour aucun consensus sur l'efficacité de ces systèmes en condition réelle [15]. Deux études de terrain ont montré des résultats en grande partie concordants à l'issue de l'utilisation du même système de masquage. La première [11] n'a pas permis de montrer d'effet positif du système après six mois d'utilisation, la seconde [12] n'a pas davantage mis en évidence d'effets sur la fatigue cognitive et la charge mentale, ainsi que sur la performance des salariés ou la productivité après deux mois d'utilisation, même si une réduction du stress et une amélioration de l'humeur ont été observées¹⁰.

↓ FIGURE 5
Niveaux de bruit ambiant mesurés par l'INRS depuis 2010 dans des bureaux ouverts.



Pour toutes ces raisons (incertitude des effets sur le terrain, contraintes d'installation et de suivi), l'INRS ne recommande pas le déploiement dans l'entreprise d'un système de masquage car il pourrait s'avérer d'une faible efficacité, voire contre-productif et coûteux. En revanche, l'INRS recommande d'appliquer la démarche de prévention détaillée dans la note ED 6402 [16] qui permet d'apporter des solutions simples aux exigences de qualité acoustique d'un espace de bureaux ouverts. ●

1. Communiqué de presse de l'INRS. 2018. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/header/presse/cp-prevention-bruit.html>.

2. La réduction de l'intelligibilité peut être due à d'autres phénomènes que le simple masquage énergétique : le masquage informationnel, des phénomènes de distorsions temporelles comme la réverbération ou des phénomènes non linéaires. Le masquage énergétique est le phénomène le plus courant et sans doute le plus important dans le contexte du masquage sonore dans les bureaux ouverts.

3. Dans une tâche de mémoire sérielle à court terme, les participants mémorisent une liste d'items (par exemple des mots), présentés l'un après l'autre. Puis l'ensemble des mots sont représentés dans un ordre aléatoire et les participants doivent reconstruire l'ordre initial de présentation.

4. Cette dispersion est très certainement liée à des différences dans les conditions de réalisation des expériences (conditions sonores, tâches réalisées, etc.).

5. La norme NF EN ISO 3382-3 (2022) [17] définit quant à elle la distance de distraction, notée r_D , comme la distance dont il faut s'éloigner d'un locuteur pour que le niveau relatif du masquage soit égal à 0 dB. Cette définition s'appuie sur les seules expériences de mémoires sérielles.

6. L'effet Lombard est un réflexe naturel qui consiste à modifier son élocution dans un environnement bruyant. Lorsque le niveau sonore s'élève, l'effet Lombard se manifeste par un effort pour parler plus fort afin de se faire comprendre, conduisant à une élévation supplémentaire du niveau sonore.

7. Il n'existe pas de consensus scientifique sur un « niveau maximum » de son émis par ces dispositifs. Du point de vue de l'INRS, ne soutenant pas l'utilisation de ces systèmes, la recommandation la plus utile du point de vue de la prévention, est de ne pas les utiliser.

8. Une salle anéchoïque est une salle traitée acoustiquement avec des dièdres en mousse qui absorbent le son sur une large bande de fréquences, de sorte à créer un environnement sonore de champ libre (sans écho). Ce type d'environnement permet de contrôler le niveau sonore et le spectre à une position souhaitée dans la salle.

9. Le guide américain ASTM E1573 [18] propose une méthode de mesurage des niveaux sonores produits par le système de masquage. Ce guide est en anglais et demande un niveau d'expertise élevé.

10. À noter sur cette étude que la période d'observation a été entrecoupée des fêtes de fin d'année, qui peuvent avoir « une influence sur l'humeur des gens, leur stress et leur fatigue ».

BIBLIOGRAPHIE

[1] PIERRETTE M., CHEVRET P. – GABO : Résultats de l'enquête in-situ 5 ans après la création du questionnaire. INRS, Note scientifique et technique, 2019, NS 368, 24 p.

[2] NORME NF EN IEC 60268-16 – Équipements pour systèmes électroacoustiques – Partie 16 : évaluation objective de l'intelligibilité de la parole au moyen de l'indice de transmission de la parole. Afnor, 2020.

[3] HAAPAKANGAS A., HONGISTO V., LIEBL A. – The relation between the intelligibility of irrelevant speech and cognitive performance: a revised model based on laboratory studies. *Indoor air*, 2020, 30 (6), pp. 1130-1146.

[4] EEA (2020) – *Environmental noise in Europe*. European Environment Agency, EEA Report No 22/2019, 101 p. Accessible sur : doi:10.2800/686249

[5] KOSTALLARI K. – *Contribution à l'étude des effets psychologiques du bruit de parole dans les bureaux ouverts*. Thèse de doctorat, Université de Lyon, 2019.

[6] LENNE L. – *Gêne dans les bureaux ouverts : Incertitudes des indicateurs de la norme ISO 3382 3 et proposition d'amélioration de la norme ISO 22955*. Thèse de doctorat, Université de Lyon, 2022.

[7] NORME ASTM E1374 – *Standard guide*

for office acoustics and applicable ASTM standards, 2018.

[8] WARNOCK A., HENNING D., NORTHWOOD T. – *Acoustic survey of an open-plan landscaped office*. National Research Council of Canada, Division of Building Research, 1972.

[9] VEITCH J.A. ET AL. – *Masking speech in open-plan offices with simulated ventilation noise: noise level and spectral composition effects on acoustic satisfaction*. Institute for Research in Construction, 2002, Rapport interne IRC-IR-846.

[10] BRADLEY J., GOVER B. – *Criteria for acoustic comfort in open-plan offices*. In: 33rd International congress and exposition on noise control engineering, 2004.

[11] LENNE L., CHEVRET P., MARCHAND J. – *Long-term effects of the use of a sound masking system in open-plan offices: a field study*. *Applied acoustics*, 2020, 158, 107049.

[12] KJELLBERG A., MUHR P., SKOLDSTROM B. – *Fatigue after work in noise: an epidemiological survey study and three quasi-experimental field studies*. *Noise health*, 1998, 1 (1), pp. 47-55.

[13] HONGISTO V., OLIVA D., REKOLA L. – *Subjective and objective rating of spectrally different pseudorandom noises:*

implications for speech masking design. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2015, 137 (3), pp. 1344-1355.

[14] BERGEFURT L., APPEL-MEULENBROEK R., ARENTZE T. – *Level-adaptive sound masking in the open-plan office: How does it influence noise distraction, coping, and mental health?* *Applied Acoustics*, 2024, 217, 109845. Accessible sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X23006436?via%3Dihub>

[15] NORME NF ISO 22955 – *Acoustique. Qualité acoustique des espaces de bureaux ouverts*. Afnor, 2021.

[16] INRS – *Environnement sonore en bureaux ouverts : évaluation de la gêne et démarche d'amélioration*. ED 6402, 2021. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206402>

[17] NORME NF EN ISO 3382-3 – *Acoustique. Mesurage des paramètres acoustiques des salles. Partie 3 : bureaux ouverts*. Afnor, 2022.

[18] NORME ASTM E1573 – *Standard test method for measurement and reporting of masking sound levels using A-weighted and one-third-octave-band sound pressure levels*. 2022.