

GABO – N°EST-2011/1/125

Rapport Final

Projet financé dans le cadre du PNR EST
Programme national de recherche Environnement-Santé
Travail

Titre du projet: Gêne Acoustique dans les Bureaux Ouverts

Période concernée: du 15 décembre 2011 au 30 décembre 2014

**Nom, titre et organisme du responsable scientifique: Etienne Parizet,
Professeur, INSA-Lyon**

1. RESUME

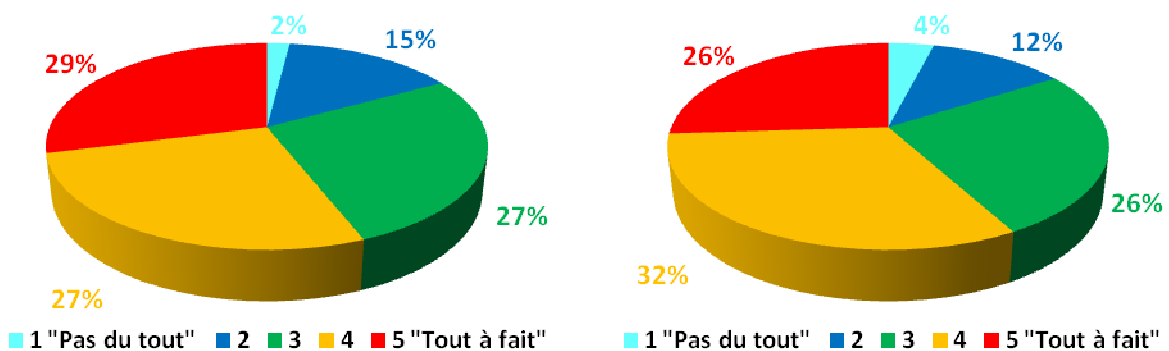
Synthèse publiable du rapport final

Le niveau de bruit mesuré dans les bureaux ouverts (parfois appelés bureaux paysagers ou par leur terme anglais *open-space*) est largement inférieur aux valeurs réglementaires¹. Pourtant, les occupants de tels espaces se plaignent souvent du bruit, en mettant en avant des conséquences sur leur capacité de travail et sur leur fatigue en fin de journée.

L'objectif général du projet GABO était donc de proposer des indicateurs d'exposition sonore adaptés à ce cas très particulier. La méthode combinait une enquête dans des bureaux, des expériences en laboratoire et le développement d'un indicateur utilisant le bruit enregistré au poste de travail. Ce projet associait le Laboratoire Vibrations Acoustique de l'INSA-Lyon et le Laboratoire Réduction du bruit au travail de l'INRS (Nancy).

Tout d'abord, un questionnaire permettant d'interroger les salariés sur leur environnement de travail a été mis au point. A partir de quelques entretiens ouverts et d'une revue de la littérature, plusieurs groupes de questions ont été définis. Ces questions se rapportent à la perception par les répondants de certaines sources de bruit typiques de ces locaux (conversations intelligibles, brouhaha de conversations, sonneries de téléphones, imprimantes), en termes d'intensité perçue et de gêne apportée. D'autres questions portent sur la santé ressentie des salariés et leur sensibilité au bruit (qui est classiquement un facteur influent des réponses de gêne).

Ce questionnaire a été proposé aux salariés de sept entreprises; pour l'instant, 237 réponses ont été recueillies. Ces réponses montrent que l'environnement est souvent considéré bruyant et gênant : l'insatisfaction est donc réelle, comme le montre la figure ci-dessous. Les réponses 4 ou 5 (5 correspondant à "tout à fait" représentent 56% et 58% des réponses totales :



De façon générale, vous diriez que votre environnement de travail est bruyant

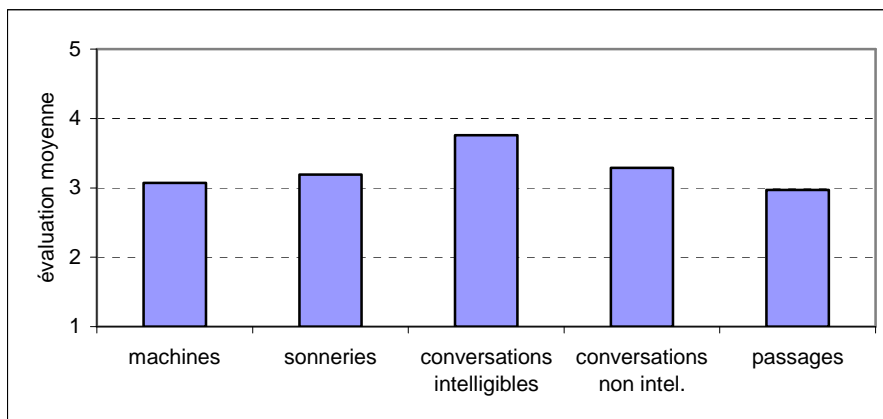
De façon générale, vous diriez que votre environnement de travail est gênant

A gauche, évaluation du niveau sonore de l'environnement de travail.

A droite, évaluation de la gêne due au bruit.

Plus précisément, les répondants décrivent bien un effet spécifique des conversations intelligibles : l'évaluation de la gêne due à ces sources est significativement plus élevée que celles des autres sources (voir ci-dessous, les échelles de réponses vont de 1 – pas du tout gênant – à 5 – tout à fait gênant).

¹ Directive 2003/10/CE du Parlement européen et du Conseil, du 6 février 2003.

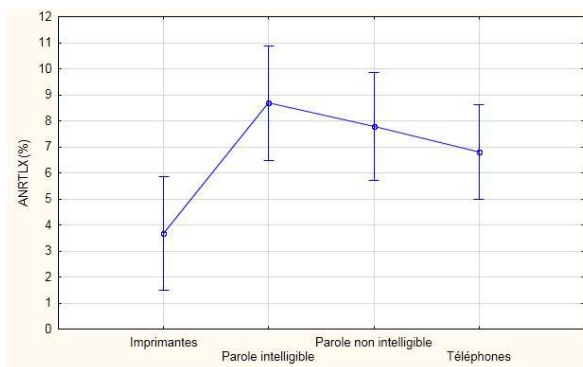
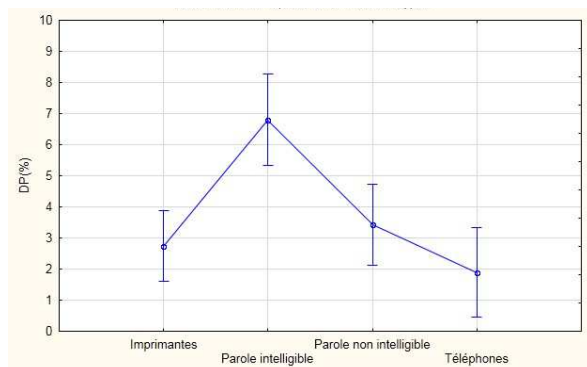


Evaluations moyennes de gêne des différents types de sources sonores

Ce questionnaire est maintenant intégré dans le projet de norme NF S31-199. Ce projet est un complément de la norme S31-080 "Acoustique – Bureaux et espaces associés – Niveaux et critères de performances acoustiques par type d'espace". Il permettra de mesurer objectivement le confort des usagers d'un bureau ouvert et d'aider à définir les solutions d'amélioration, par la connaissance des sources principales de gêne.

Une seconde série d'expériences s'est alors déroulée en laboratoire. L'intérêt du laboratoire est qu'il permet de contrôler parfaitement les conditions expérimentales, au détriment d'une situation parfois différente de la réalité (notamment en termes de durées d'exposition). Nous avons voulu dans un premier temps vérifier s'il est possible de retrouver les résultats de l'enquête in-situ dans des expériences de laboratoire. Pour ce faire, des sujets ont dû réaliser des tâches de mémorisation à court-terme (mémoriser des listes de dix mots présentés visuellement pendant deux secondes pour chaque mot), tout en étant exposé à différentes ambiances sonores. Ces ambiances sonores reprenaient les grandes catégories de sources mentionnées dans l'enquête in-situ (sauf les bruits de passage qui paraissaient moins gênants), leur niveau sonore étant constant (fixé à 50 dB(A)). Chaque condition durait dix minutes, pendant lesquelles la tâche de mémorisation était répétée dix fois. Trente-cinq auditeurs ont participé à l'expérience. Pour chaque condition, on mesurait d'une part la performance du sujet (exprimée en nombre de mots dont il se souvenait) et, d'autre part, la gêne qu'il avait ressentie au cours de l'expérience (grâce à une série de questions nommée RTLX).

Les résultats obtenus sont les suivants :

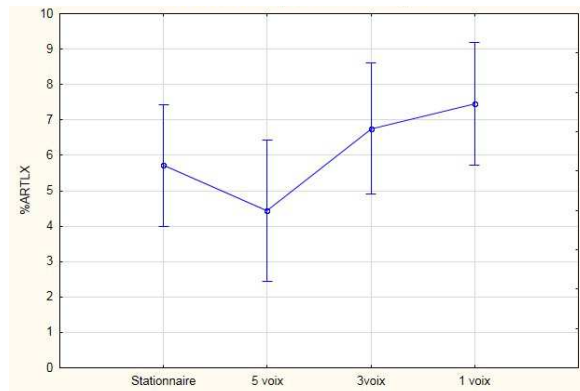
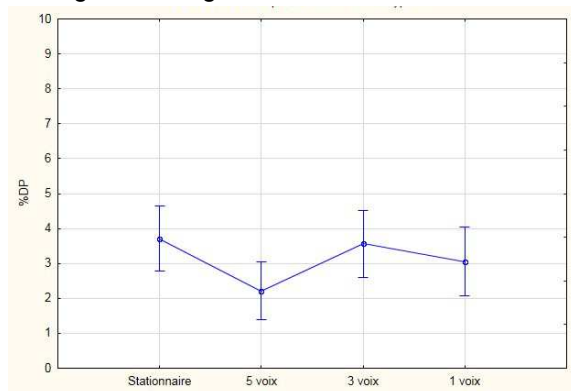


A gauche : baisse de performance (par rapport à une situation de référence) pour quatre types de bruits. A droite, charge cognitive estimée par les sujets dans les mêmes conditions.

Ainsi, les résultats du questionnaire sont confirmés par les mesures de performances dans une tâche de mémorisation. Mais les sujets n'ont pas conscience de cette difficulté supplémentaire apportée par le bruit de parole intelligible.

La seconde expérience avait pour but d'affiner les connaissances sur cette influence de l'intelligibilité. En effet, un indicateur classique (le Speech Transmission Index) est déjà utilisé pour caractériser l'isolation acoustique entre deux postes de travail (la parole du voisin est d'autant plus perturbante qu'elle est intelligible). Cet indice est d'autant plus élevé que la transmission de la parole est bonne et le niveau du bruit masquant faible. Cependant, l'effet du bruit est considéré par cet indice d'après son spectre moyen. Dans le cas d'un bruit de fond fluctuant (souvent rencontré dans un bureau ouvert), l'intelligibilité peut être améliorée par le phénomène nommé "écoute dans les trous". Une adaptation du STI (le STIt) veut rendre compte de ce phénomène et nous avons souhaité tester cet indice. Pour cela, le protocole précédent a été conservé, mais les conditions sonores comprenaient toujours une voix cible, à laquelle s'ajoutait soit du bruit stationnaire, soit une voix concurrente, soit un mélange de trois ou cinq voix. Pour qu'il n'y ait pas d'ambiguïté entre voix cible et masquantes, ces dernières étaient temporellement inversées (ce qui conserve leurs fluctuations temporelles tout en les rendant inintelligibles). L'indice STI était identique dans toutes ces situations (0,4) alors que le STIt variait entre 0,3 (pour le bruit stationnaire) et 0,69 (pour un masquage par une voix unique). De même, le niveau global était constant (47 dB(A)). Cinquante-cinq personnes ont participé à cette expérience.

Les résultats étaient contradictoires à nos attentes : tant du point de vue de la performance (mesure objective) que de la gêne (mesure subjective), les différentes conditions sont équivalentes, comme en témoignent les figures ci-dessous :



A gauche : baisse de performance dans les quatre conditions masquantes de la voix. A droite, augmentation de la charge cognitive perçue (par rapport à une condition de référence).

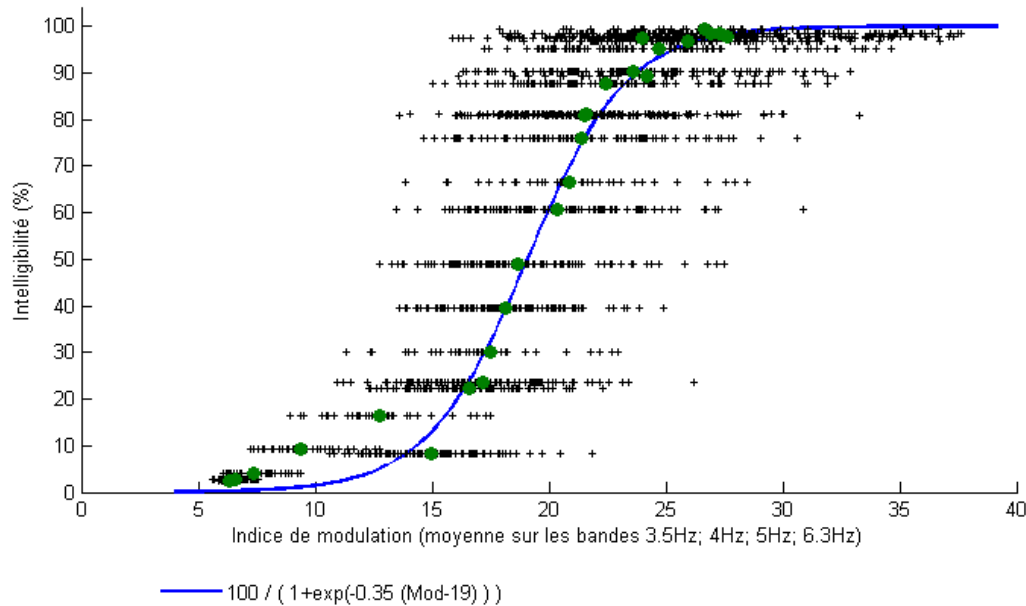
Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ces résultats :

- l'intelligibilité de la parole n'a pas un effet perturbant dans l'accomplissement d'une tâche de mémorisation court-terme.
- l'indicateur STIt ne décrit pas cette intelligibilité;
- les conditions expérimentales ne suffisent pas pour mettre en évidence cet effet.

Nous pensons que les deux premières hypothèses peuvent être rejetées : la littérature est abondante pour décrire la gêne propre à une parole intelligible et l'indice STIt a été validé dans de nombreux cas. Il nous semble en revanche que la durée d'exposition de l'expérience (10 minutes) n'était pas suffisante pour mettre en évidence des effets de second ordre. Par ailleurs, une analyse plus fine des résultats individuels a mis en évidence une variabilité inter-auditeurs : pour certains, qui avaient globalement des performances moindres, ces performances ont décliné dans la condition d'une seule voix masquante (donc d'une intelligibilité de la voix cible plus forte).

La dernière phase du projet concernait donc le développement d'un indicateur. Le STI ne peut pas être utilisé pour caractériser globalement le bruit perçu par un salarié, car il suppose d'avoir préalablement identifié une parole cible et un bruit de fond. Il est donc nécessaire de développer de nouvelles approches. L'ambition générale est de détecter dans le bruit de fond l'émergence d'une parole intelligible, considérant que celle-ci sera particulièrement gênante. Des techniques

d'apprentissage à partir de bibliothèques de signaux ont été utilisées, consistant soit à classer automatiquement les types de bruit de fond, soit à détecter une voix dont on évalue l'intelligibilité. La première voie a trouvé des limites car les bases de données de signaux utilisés souffraient d'une sous-représentation de certaines sources (notamment en ce qui concerne les sonneries de téléphone et les machines). Pour la seconde approche, il semble que certains indicateurs sont potentiellement utiles. En particulier, la présence de modulation d'amplitude aux fréquences voisines de 5 Hz (qui est importante dans un signal vocal) peut indiquer la présence d'une voix compréhensible. La relation entre cet indice de modulation et l'intelligibilité a été estimée sur un ensemble de signaux pour lesquels les données subjectives d'intelligibilité existent. Les résultats sont les suivants :



Relation entre le taux de modulation aux fréquences voisines de 5 Hz et l'intelligibilité de la parole

Ce diagramme rend apparent le lien entre cet indice de modulation et l'intelligibilité de la parole contenue dans le signal, donc, potentiellement, dans la gêne de ce signal. Mais la grande dispersion des résultats montre que d'autres études sont nécessaires pour parvenir à un indicateur validé. Notamment, l'ambiguïté des résultats des mesures en laboratoire de performance et de gêne incite à penser que des expériences utilisant des durées d'exposition plus longue seraient indispensables. Ces expériences devraient également être menées sur un grand nombre de sujets, étant donnée la forte variabilité inter-individuelle notée au cours du projet.

Résumé du projet

Le niveau de bruit mesuré dans les bureaux ouverts (parfois appelés bureaux paysagers ou par leur terme anglais open-space) est largement inférieur aux valeurs réglementaires. Pourtant, les occupants de tels espaces se plaignent souvent du bruit, en mettant en avant des conséquences sur leur capacité de travail et sur leur fatigue en fin de journée.

L'objectif général du projet GABO était donc de proposer des indicateurs d'exposition sonore adaptés à ce cas très particulier. La méthode combinait une enquête dans des bureaux, des expériences en laboratoire et le développement d'un indicateur utilisant le bruit enregistré au poste de travail. Ce projet associait le Laboratoire Vibrations Acoustique de l'INSA-Lyon et le Laboratoire Réduction du bruit au travail de l'INRS (Nancy).

Au cours du projet, un questionnaire destiné aux occupants d'un bureau ouvert a tout d'abord été développé. Il a été soumis au personnel de 7 entreprises. Les réponses obtenues jusqu'à présent ont permis de mettre en évidence les points suivants :

- l'environnement sonore est majoritairement considéré de niveau élevé et gênant;
- les bruits de conversations intelligibles sont décrits comme les sources les plus gênantes;
- il n'y a pas d'effet particulier lié aux conversations téléphoniques (pour lesquelles on n'entend que l'un des interlocuteurs);

Ce questionnaire est maintenant intégré au projet de norme NF S31-199, qui complète la norme S31-080 "Acoustique – Bureaux et espaces associés – Niveaux et critères de performances acoustiques par type d'espace".

Par ailleurs, deux expériences en laboratoire ont été menées. Elles ont consisté à placer des sujets dans des conditions de bruit contrôlées, tout en leur demandant d'accomplir une tâche de mémorisation à court-terme (se souvenir d'une liste de mots présentés visuellement). La première expérience a confirmé l'effet spécifique d'un bruit de parole intelligible : les performances étaient significativement moindres dans cette condition. Cependant, la gêne estimée par les sujets était similaire à celle estimée pour d'autres conditions (parole non intelligible ou sonnerie de téléphone), ce qui illustre une différence entre l'enquête in-situ et les expériences en laboratoire.

Une seconde expérience voulait tester la pertinence d'un indicateur d'intelligibilité. Celle-ci est classiquement estimée à partir de la comparaison des niveaux de parole et de bruit de fond, dans différentes bandes de fréquence; mais le bruit est alors considéré stationnaire. Or, dans un bureau ouvert, le bruit de fond est fluctuant, ce qui peut favoriser l'intelligibilité (l'auditeur reconstruisant la phrase à partir de ce qu'il peut facilement détecter pendant les périodes où le bruit est à faible niveau). Plusieurs conditions ont alors été testées, pour lesquelles l'indicateur classique était maintenu constant alors que le bruit de fond présentait des fluctuations plus ou moins fortes. Contrairement à nos attentes, les performances et la gêne estimée étaient semblables dans les différentes conditions, alors que l'intelligibilité de la voix cible variait. Il est vraisemblable que la durée relativement brève des expositions (10 minutes) soit une raison de cette non discrimination : les auditeurs parviennent à mobiliser leurs ressources cognitives pour mener à bien la tâche assignée quelles que soient les conditions.

Enfin, des travaux ont consisté à construire un indicateur d'exposition sonore adapté au cas particulier des bureaux ouverts. Considérant l'effet spécifique d'une parole intelligible, et compte-tenu qu'une voix est notamment caractérisée par des fluctuations temporelles d'amplitude, cet indicateur consiste à mesurer le taux de modulation d'amplitude à des fréquences voisines de 5 Hz (plus cet indicateur est élevé, plus forte est la probabilité qu'une voix intelligible soit contenue dans le bruit).

Cet indicateur n'a pas encore pu être validé dans des conditions réelles. Les perspectives du projet consistent à imaginer des expériences en laboratoire utilisant des durées d'exposition beaucoup plus réalistes, ce qui pourrait permettre de mieux mettre en évidence l'effet des différents facteurs. Puis des mesures dans des bureaux ouverts, associées à des interrogations des salariés à partir du questionnaire, pourront permettre d'affiner l'indicateur proposé.

2. OBJECTIFS INITIAUX DU PROJET DE RECHERCHE

Le bruit dans les bureaux paysagers atteint des niveaux nettement inférieurs aux limites réglementaires. Pourtant, les occupants de tels espaces se déclarent gênés par le bruit. L'objectif du projet GABO était donc de mieux identifier les sources sonores les plus gênantes et de proposer un indicateur mesurable adapté. L'accent était placé sur les bruits de conversation, puisque différents travaux de la littérature mettent en avant une perturbation propre à ce genre de signal, lors de l'accomplissement de certaines tâches.

3. TRAVAUX ET REALISATIONS DU PROJET

Quatre étapes étaient planifiées : enquêtes sur le terrain, expériences en laboratoire, développement d'indicateur et validation de ces indicateurs.

3.1 Enquêtes sur le terrain

L'enquête *in-situ* avait pour objectif d'évaluer l'environnement physique des espaces de travail ouverts et plus spécifiquement la façon dont les employés évaluent l'environnement sonore de travail. Pour ce faire, il convenait de :

- Evaluer ce que les salariés éprouvent à l'égard du bruit présent sur leur espace de travail en termes d'intensité et de gêne ;
- Identifier les différentes sources de bruit présentes sur le lieu de travail ;
- Estimer la fréquence de perception de ces sources ;
- Evaluer leur capacité de nuisance afin de les hiérarchiser du point de vue de la gêne ;
- Obtenir des précisions sur l'appréciation par les employés des sources de bruit "intelligibles" (conversations de personnes proches, conversations globales, conversations téléphoniques) ;
- Voir les tâches que les employés estiment les plus impactées par la présence du bruit ;
- Mesurer le lien entre l'évaluation du bruit et la santé déclarée des salariés (plus spécifiquement avec le niveau de stress) ;
- Evaluer si des facteurs environnementaux (environnement physique et organisationnel), des facteurs individuels (sensibilité estimée au bruit, santé perçue), et/ou des facteurs sociodémographiques (âge, sexe, ancienneté au sein de l'entreprise...) ont une influence sur l'évaluation de la gêne.

Une étude bibliographique ainsi que quelques entretiens ouverts ont permis de mettre au point un questionnaire destiné aux utilisateurs des espaces de travail. Ce questionnaire se compose de 67 questions regroupées en quatre parties s'articulant autour de l'évaluation de l'environnement physique de travail des salariés, d'une approche plus spécifique de l'environnement sonore, et d'une évaluation des conséquences de cet environnement sur la santé des salariés.

La première partie du questionnaire, "Informations générales sur vous et sur votre poste de travail", permet de relever des informations signalétiques (questions 1 à 6) comme le sexe, l'âge, l'ancienneté au sein de l'entreprise et le nombre de personnes travaillant dans le même espace de travail, et d'évaluer la satisfaction pour l'environnement physique de travail (questions 7 à 20). L'évaluation de la satisfaction pour l'environnement physique de travail se fait à l'aide d'une échelle développée par Fleury-Bahi et Marcouyeux (2011). C'est une échelle bifactorielle en 14 items qui mesure la satisfaction pour l'espace de travail selon deux dimensions : Contrôle/Privacité (7 items) et Confort/Fonctionnalités (7 items).

La deuxième partie du questionnaire (questions 21 à 40), "Evaluation de l'environnement sonore de votre espace de travail", permet d'évaluer l'environnement sonore des salariés. On mesure, dans un premier temps, le niveau général de bruit perçu par les salariés, puis le niveau de gêne ressentie. On détaille ensuite l'environnement sonore à travers cinq sources de bruit (fonctionnement des machines, téléphones qui sonnent, conversations intelligibles, conversations non intelligibles, passages), selon la fréquence de perception, le niveau de gêne que chaque bruit engendre, l'incidence que ces bruits ont sur le travail, et si les bruits sont plus gênants pour certaines tâches. Ces cinq sources de bruit sont

présentées dans la littérature comme les principales sources de gêne sonore dans les bureaux ouverts (Nemeck et al., 1973 ; Sundström et al., 1994) et ce sont également les différentes sources de bruit citées par les salariés interrogés lors des entretiens. Nous demandons également aux personnes de classer les sources sonores de la plus gênante à la moins gênante. Deux sources de bruit ont été ajoutées aux cinq présentées dans les questions 23 à 38 : le bruit lié au fonctionnement des personnes (clavier, ouverture et fermeture des tiroirs, etc.) et le bruit lié à une personne en particulier. Enfin, une question portait spécifiquement sur le cas des "demi-conversations", c'est-à-dire la parole intelligible d'un collègue utilisant le téléphone.

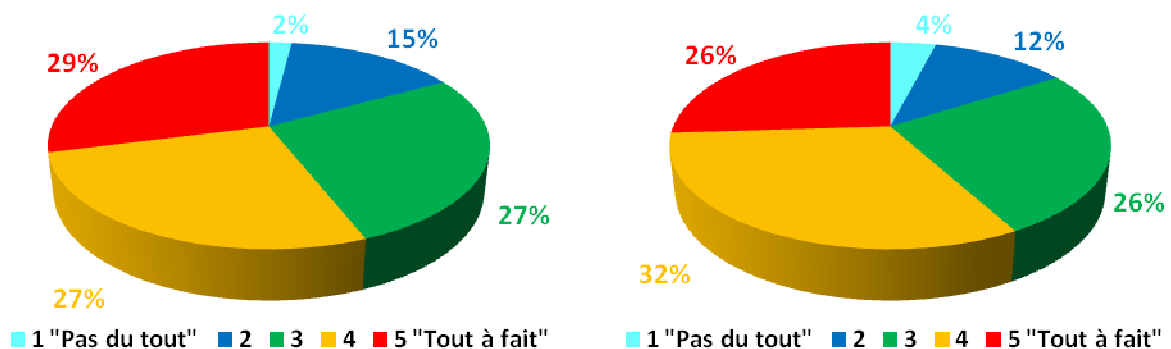
Une troisième partie (questions 41 à 52), "Votre relation au bruit en général", est consacrée à la relation que les personnes entretiennent avec le bruit en général. On mesure ainsi le niveau de sensibilité à l'aide de la version réduite du Noise Sensitivity Questionnaire (NoiseQ) développée par Schütte et al. (2007a ; 2007b). La version réduite (NoiseQ-R) comprend 3 sous-échelles (sommeil, habitation, travail) avec 4 items par sous-échelle soit 12 questions au total (cf. annexe 4).

Enfin, la quatrième partie du questionnaire (questions 53 à 67), "Vous et votre santé", permet d'évaluer la perception qu'ont les personnes interrogées sur leur propre santé. Cette dernière partie est composée de 15 questions provenant du questionnaire SATIN développé par Grosjean, Kop, Formet-Robert et Parmentier (2012) et permettant d'auto-évaluer leur propre santé physique et morale perçue par les salariés (Cf. annexe 5). Ces questions s'intéressent à la santé physique perçue, la santé psychologique perçue et le stress.

Les réponses à toutes ces questions s'effectuent sur des échelles à cinq niveaux.

Ce questionnaire a été proposé à des salariés de sept entreprises, avec quelques difficultés de recrutement, car beaucoup d'entreprises sont réticentes à l'idée de permettre ce genre d'enquête, qui peut rendre apparente une insatisfaction. Nous avons pour l'instant recueilli 237 réponses. Un résumé de l'analyse de ces réponses est présenté ci-dessous :

- dans l'ensemble, les salariés interrogés estiment que leur environnement physique de travail est moyennement satisfaisant. Cependant, lorsqu'on évalue indépendamment les aspects "Contrôle/Privacité" et les aspects "Confort/Fonctionnalité" (en jaune dans le tableau), on s'aperçoit que les salariés sont globalement moins satisfaits par les éléments liés au contrôle et à l'espace privée de leur environnement physique de travail (moyenne = 2,5 ; écart-type = 0,8) que par les éléments liés au confort et à la fonctionnalité de leur bureau (moyenne = 3,3 ; écart-type = 0,7). La différence entre les deux scores est significative [t(236) = 17.51; p<.001].
- L'environnement sonore est considéré le plus souvent de niveau élevé et gênant (figure 1).



De façon générale, vous diriez que votre environnement de travail est bruyant

De façon générale, vous diriez que votre environnement de travail est bruyant

Figure 1 : à gauche, évaluation du niveau sonore de l'environnement de travail. A droite, évaluation de la gêne due au bruit.

- Parmi les différentes sources évaluées, les conversations sont les plus gênantes, en particulier les conversations intelligibles (figure 2). Dans ce dernier cas, 61% des personnes déclarent une gêne. En revanche, nous n'avons pas noté d'effet spécifique des "demi-conversations" (cas d'un collègue qui parle au téléphone) : les personnes ne sont pas plus gênées par ce type de situation.

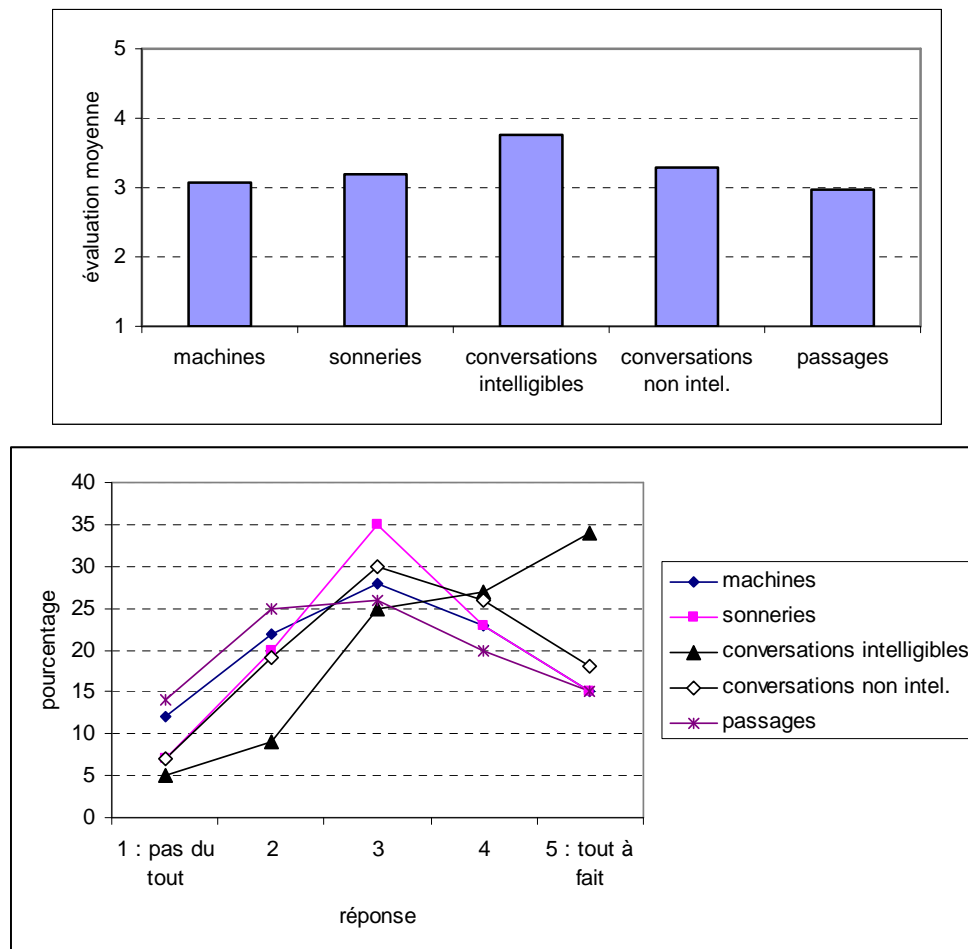


Figure 2 : évaluation de la gêne des différentes sources perçues par les personnes ayant répondu au questionnaire. En haut : évaluation moyenne; en bas : répartition des réponses.

- Enfin, la gêne sonore estimée est significativement (et négativement) corrélée à la satisfaction globale de l'espace de travail ($R = - 0,54$, $p < 0,01$).

3.2 Expériences en laboratoire

La première expérience avait l'objectif de mesurer l'effet spécifique de certaines sources de bruit typiques de bureaux paysagers sur la performance et la gêne. Ceci afin de valider les expériences menées en laboratoire : en effet, ces expériences ont forcément des durées réduites, et se déroulent dans un contexte totalement différent de celui expérimenté quotidiennement par les usagers d'un bureau ouvert. Dans ces conditions, peut-on retrouver les principaux enseignements du questionnaire ?

Pour répondre à cette question, nous avons procédé à des mesures de performance dans une tâche de sériation. En effet, cette tâche consistant pour le sujet à restituer une liste (de mots ou nombres) fait appel à la mémoire court-terme et il a été plusieurs fois montré qu'elle est l'une des plus sensibles à l'exposition au bruit, en particulier de parole (voir par exemple Jahncke *et al.*, 2013).

Ainsi, cinq bandes sonores durant chacune 10 minutes ont été préparées. Elles contenaient respectivement du bruit stationnaire (bruit de souffle à contenu plutôt basses fréquences), des bruits

d'imprimantes, des sonneries de téléphones, une parole intelligible (sans bruit masquant) et un mélange de paroles rendant celles-ci inintelligibles. Le niveau de présentation du bruit stationnaire était 35 dB(A), celui des autres conditions 50 dB(A).

La tâche de sériation consistait à présenter au sujet une liste de dix mots apparaissant successivement sur l'écran de l'ordinateur. Chaque mot était visible pendant deux secondes. Les dix mots étaient extraits de l'une des cinq listes de trente mots appartenant à la même catégorie d'objet (animaux, fruits, légumes, oiseaux, vêtements). A l'issue de la présentation, l'auditeur devait énoncer à voix haute les mots dont il se souvenait. Au cours des 10 minutes correspondant à une condition sonore, la tâche de mémorisation était répétée 10 fois (avec des listes différentes).

Chaque sujet répétait l'expérience pour chacune des bandes sonores utilisées, après une phase d'apprentissage utilisant le bruit stationnaire. L'ordre de présentation des bandes sonores était différent pour chaque sujet (en appliquant une procédure de carré latin). Après chaque bande sonore, le sujet évaluait subjectivement la charge cognitive de la tâche, en répondant à un questionnaire de type NASA-RTLX, qui avait montré son intérêt dans la thèse d'Ange Ebissou, co-encadrée par les partenaires du projet (Ebissou, 2013). Enfin, à l'issue de toutes les conditions, il devait évaluer la gêne ressentie des différentes sources de bruit, qui étaient bien sûr parfaitement identifiables.

35 auditeurs, recrutés à l'extérieur du laboratoire, ont participé à l'expérience. Leurs âges variaient de 23 à 59 ans. Une audiométrie préalable à l'expérience a vérifié que tous (sauf un) ont des seuils d'audition inférieurs à 35 dB HL aux fréquences comprises entre 125 et 8000 Hz, ce qui représente, selon le Bureau International d'AudioPhonologie, des "pertes auditives légères".

Les résultats ont confirmé un effet spécifique de la parole intelligible sur la performance, comme le montre la figure 3, qui représente le décrétement de performance (exprimé en pourcentage) de chaque situation (c'est la diminution de performance par rapport au cas du bruit stationnaire, considéré comme une référence).

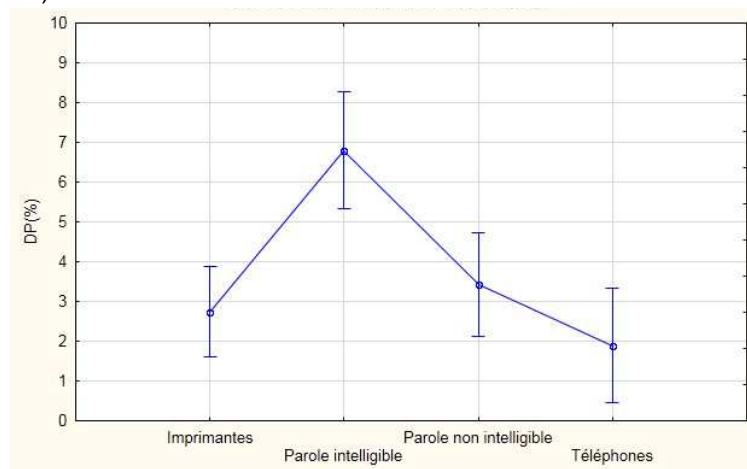


Figure 3 : effet de la condition sonore sur le décrétement de performance

En revanche, l'évaluation subjective ne permet pas de retrouver cette singularité : parole intelligible et non intelligible, de même que les sonneries de téléphones, sont déclarées plus gênantes que les imprimantes. Ceci se retrouve sur les scores NASA-RTLX (recueillies après chaque situation) ou sur les évaluations rétrospectives menées à la fin de l'expérience (figure 4).

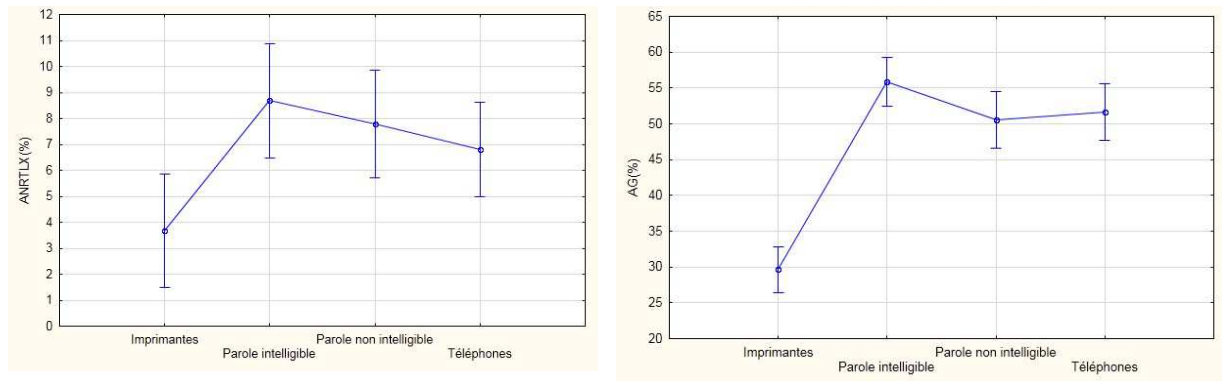


Figure 4 : à gauche, différences de scores NASA-RTLX (par rapport au bruit stationnaire) pour chaque condition sonore. A droite : différence de gêne estimée à l'issue des expériences.

Ainsi, les expériences en laboratoire permettent de retrouver, dans une certaine mesure, les réponses au questionnaire. On note cependant la différence entre mesure objective (performance) et subjective (évaluation de gêne), ce qui justifie la recommandation d'utiliser les deux types de mesure (Schlittmeier et al., 2008). L'évaluation subjective recueillie dans les questionnaires est plus proche de la mesure objective de performance en laboratoire que de l'évaluation subjective dans cette même condition.

Une seconde expérience en laboratoire s'est alors focalisée sur l'évaluation de l'intelligibilité de la parole comme indicateur de la perturbation de celle-ci. Il est couramment admis qu'un indicateur simple d'intelligibilité (par exemple le Speech Transmission Index) représente bien la gêne due à un bruit de parole (Hongisto, 2005; Haapakangas et al., 2008, Schlittmeier et al., 2008). Cependant, la thèse déjà citée d'Ange Ebissou avait montré que cet indicateur peut être insuffisant. En effet, pour un même rapport signal à bruit (donc une même valeur de STI), une parole sera d'autant plus intelligible que le bruit masquant sera instationnaire (l'auditeur profitant du phénomène dit "écoute dans les creux du bruit masquant" et de la redondance de la parole). Une amélioration du STI a justement été proposée (sur le principe du SII court terme de Reberghen, 2006) pour décrire l'effet propre de la non-stationnarité du bruit masquant. Il s'agit du STIt (pour transitoire), qui consiste à calculer le STI sur des petites fenêtres glissantes (de durée typique 125 ms) avant de calculer la moyenne des résultats obtenus.

La seconde expérience voulait donc évaluer l'apport de cette modification de l'indicateur d'intelligibilité. Le même type de protocole a été utilisé : tâche de mémorisation court-terme de mots présentés visuellement. Les différentes conditions expérimentales étaient :

- un bruit stationnaire (de spectre de parole);
- une voix masculine mélangée avec un bruit stationnaire;
- une voix masculine mélangée avec une voix;
- une voix masculine mélangée avec un mélange de trois voix;
- une voix masculine mélangée avec un mélange de cinq voix.

Le niveau global était constant pour toutes les conditions (47 dB(A)); le STI (calculé classiquement) était constant pour les conditions comprenant la voix masculine (0,36, ce qui correspond à la zone de plus forte pente de la courbe reliant cet indice à la performance, telle que proposée par Hongisto). Cependant, le STIt variait entre les valeurs 0,38 pour le masque stationnaire et 0,69 pour le masque d'une seule voix. Enfin, pour que la cible soit toujours identifiée comme la voix masculine, les voix du masque étaient inversées temporellement. Ainsi, elles n'étaient plus compréhensibles, tout en conservant leur structure temporelle fortement variable.

Comme dans l'expérience précédente, on mesurait la performance du sujet; puis la complexité de la tâche était ensuite évaluée grâce au NASA-RTLX. 55 personnes ont participé à l'expérience (âge entre 31 et 61 ans, audition similaire à celle des sujets précédents).

Les résultats étaient contraires à nos attentes : la performance ainsi que la charge cognitive perçue n'ont pas montré de dépendance à la condition de bruit (figure 5). Cette indépendance est révélée par l'analyse de variance des résultats (ANOVA à mesures répétées) : pour la performance, $F(3, 162) = 1,25$ ($p = 0.29$) et pour le score RTLX, $F(3, 162)=1,95$, $p=0.12$.

Ces résultats semblent donc contredire la proposition d'utiliser l'indice temporel STIt pour prédire la baisse de performance. D'autres indicateurs sont également mis en défaut; ainsi, Schlittmeier *et al.* (2008) préconisent la *force de fluctuation* (qui représente la sensation de variation de la sonie temporelle des signaux). Ici, de façon naturelle, la force de fluctuation est beaucoup plus importante pour le mélange "voix masculine + 1 voix" ($F_s = 0.65$ vacil) que pour le mélange "1 voix masculine + bruit stationnaire" ($F_s = 0.1$ vacil).

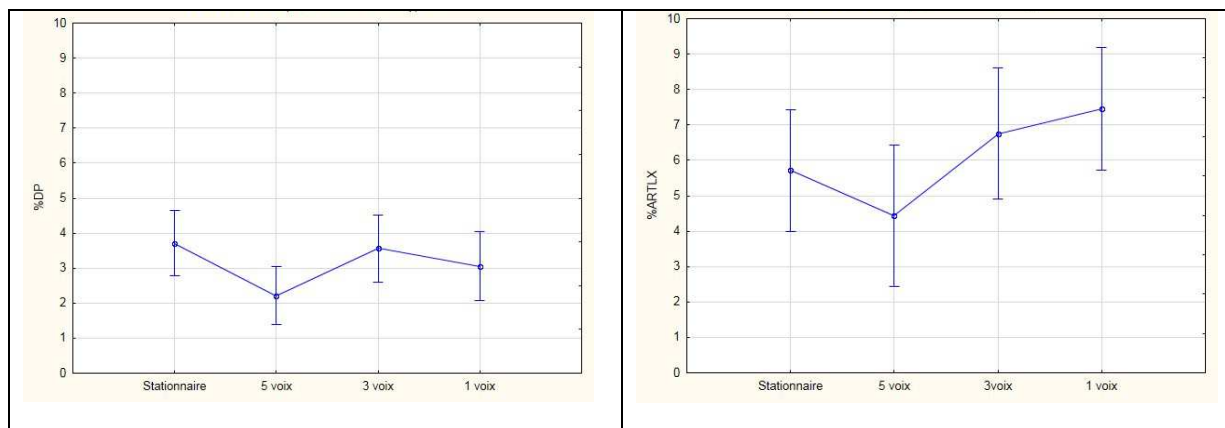


Figure 5 : à gauche, décrétement de performance (par rapport à la condition de base) des quatre conditions de parole. A droite, évolution du score NASA-RTLX.

Une analyse plus poussée a révélé que les auditeurs peuvent être classés en deux groupes selon leur performance. Un premier groupe de 21 personnes a des performances toujours meilleures (quelle que soit la condition) à celles d'un second groupe de 34 sujets – aucune relation entre cette classification et des données sujets (genre, âge, audition) n'ayant pu être identifiée. Or, le décrétement de performance est similaire pour les deux groupes, sauf dans la condition d'une seule voix masquante (figure 6). Une ANOVA mixte à mesures répétées (un facteur intra-sujets, un facteur inter-sujets) montre que l'interaction entre les deux facteurs est significative ($F(3,159)=3,5$, $p<0,02$).

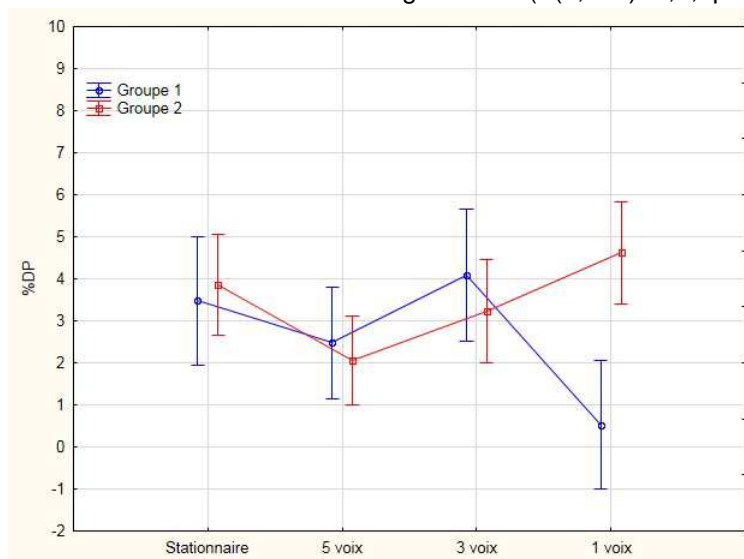


Figure 6 : décrétements de performance mesurés pour les deux groupes de sujets.

La figure 6 montre que cet effet réside dans la condition "une voix masquante" (correspondant au STIt le plus élevé). Le décrétement de performance est alors significativement plus important pour les sujets ayant globalement les moins bonnes performances. Cette variabilité a déjà été observée par les partenaires du projet dans le cadre de la thèse d'Ange Ebissou (Ebissou *et al.*, 2015).

Cependant, l'effet d'une parole intelligible sur la performance a été plusieurs fois mis en évidence (notamment au cours de cette étude); d'autre part, la relation entre valeurs du STIt et intelligibilité de la parole dans un bruit fluctuant a également été validée dans la littérature. Nous pensons donc que les résultats contradictoires de l'expérience peuvent essentiellement être expliqués par la faible durée d'exposition. Comme les effets des facteurs des différentes conditions étaient de second ordre (car le STI était égal dans ces conditions), les sujets ont pu mobiliser leurs ressources cognitives pendant les dix minutes de chaque condition. La variabilité inter-auditeur montre d'ailleurs que les sujets sont inégaux devant cette capacité de mobilisation. Ainsi, des expériences sur des durées plus longues seraient à notre avis justifiées.

3.3 Développement d'un indicateur

Deux voies ont été explorées successivement : la classification automatique de type de bruit et la détection de parole intelligible puis l'évaluation de l'intelligibilité de signaux contenant de la parole.

La première orientation était gouvernée par les résultats des questionnaires, quantifiant la gêne perçue de différentes sources. Le principe a consisté à calculer un certain nombre d'indicateurs du signal, décrivant l'évolution temporelle ou le contenu fréquentiel du son. Citons l'indice de modulation à 4 Hz (cette fréquence de modulation étant particulièrement importante dans la voix), le centre de gravité spectrale, etc. Douze descripteurs ont ainsi été calculés sur un jeu de 120 signaux enregistrés par l'INRS lors de différentes mesures dans des bureaux ouverts. Des modèles de régression logistique multinomiales puis binomiales ont alors été utilisés pour tenter de décrire la présence des sources (sonneries de téléphone, machines, paroles intelligibles et paroles non intelligibles) dans les échantillons. Cependant, cette approche a été très vite limitée par la très forte sous-représentation des sources "téléphones" et "machines" dans les échantillons disponibles. Puisque les essais en laboratoire à l'INSA, ainsi que les enquêtes en entreprises tendaient à montrer que la parole intelligible constitue le principal facteur de gêne sonore, la même approche, basée sur la régression binomiale a été appliquée à la seule parole intelligible. Compte tenu du faible nombre d'échantillons de signaux réels (ceux collectés en entreprise) disponibles, il a été nécessaire de compléter la base de données par des signaux issus d'enregistrement d'émissions radiophoniques, ce qui a procuré à la base de données un caractère relativement hétérogène.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 1 sous la forme de trois descripteurs de qualité prévisionnelle : le taux global d'erreurs correspondant au pourcentage d'erreurs faites par le modèle de régression logistique dans l'affectation aux deux catégories, le taux de faux négatifs correspondant au pourcentage d'erreurs d'affectation dans la catégorie « il n'y a pas de parole intelligible », et le taux de faux positifs correspondant au pourcentage d'erreurs d'affectation dans la catégorie « il y a de la parole intelligible ».

	Taux de signaux tests comportant de la parole intelligible	Taux de signaux tests détectés comme contenant de la parole intelligible	Taux d'erreur global en classification	Taux de faux négatifs	Taux de faux positifs
échantillon test (signaux en entreprise)	37,8%	43,9%	30,4%	29,4%	32,2%

Tableau 1 : confrontation du modèle de régression logistique binomial pour la détection de la parole intelligible

Le modèle a bien une qualité prévisionnelle sur les signaux réels mais il est peu fiable : le taux global d'erreurs de 30,4% est un taux relativement élevé. Le taux de faux négatif est de 29,4% et celui de faux positif de 32,2%. Ces chiffres traduisent un modèle équilibré dans le type d'erreurs commises, il ne surévalue pas la présence de parole par rapport à son absence. Cependant, l'ensemble des analyses conduites à l'aide de ce modèle en changeant les signaux de la base de données d'apprentissage tendent à montrer le même résultat : le modèle de régression binomiale est beaucoup trop dépendant de la base d'apprentissage et les résultats de détection ne sont pas satisfaisants lorsque les signaux de la base d'apprentissage ne sont pas représentatifs de ceux pouvant être enregistrés en entreprise. Pourtant, à l'écoute, les signaux construits semblaient bien être des signaux possiblement rencontrés en entreprise ; mais soulignons que ce manque de concordance est difficilement appréhendable car, de manière stricte, il s'applique aux descripteurs physiques utilisés, par exemple l'indice de modulation ou encore l'aplatissement spectral médian ; descripteurs qui ne peuvent être directement appréhendés par l'écoute.

Compte tenu des limitations mises en évidence ci-dessus, une seconde approche a été développée, consistant à déterminer des indicateurs a priori reliés à l'intelligibilité de la parole et à établir, le cas échéant, le lien entre ces paramètres et les scores d'intelligibilité obtenus en laboratoire (données issues de la bibliographie). Ceci partant de l'hypothèse que plus un signal contient un message intelligible plus il est pénalisant du point de vue de la performance et de la gêne ressentie. Trois indicateurs ont été développés : le premier, repose sur une analyse spectrale de la parole qui consiste à rechercher la hauteur du 2^{ème} formant à partir d'une analyse par codage prédictif linéaire (LPC) du spectre à court terme. Les deuxième et troisième indicateurs se basent quant à eux sur la variabilité énergétique du signal. Le deuxième indicateur s'intéresse directement à la distribution statistique des niveaux à court terme (25 ms). Quant au troisième, il est basé sur la quantification des modulations basses fréquences d'amplitude du signal ; la fréquence 4 Hz en particulier, correspondant au débit syllabique d'une conversation non contrainte. La pertinence de ces indicateurs pour évaluer l'intelligibilité de la parole dans une conversation a été testée en s'appuyant sur les travaux de Brungart *et al.* (2001) qui ont étudié l'intelligibilité dans un mélange de paroles en fonction du nombre de voix et du rapport signal sur bruit (rapport des niveaux équivalents de la parole cible et du signal masquant). Ne pouvant utiliser directement les signaux de Brungart, construits à partir de mots anglais, une base de données spécifique a été développée possédant les mêmes caractéristiques que celle de l'auteur en termes de nombre de masques, de genre des masques et de rapport signal sur bruit. Les valeurs obtenues pour les indicateurs ont été mises en relation avec les scores d'intelligibilité obtenus par Brungart (figure 7).

Suite à cette analyse, on constate dans un premier temps que la fréquence du deuxième formant n'est pas un indicateur pertinent de l'intelligibilité. En effet la dispersion des valeurs de cet indicateur est bien trop importante, et même si l'on ne se base que sur les valeurs moyennes, il semble que cet indicateur ne soit pas discriminant.

La même constatation peut être faite pour l'écart-type du niveau à court terme. Sur la figure 7, nous avons entouré en bleu foncé, bleu clair et rouge, les points correspondant respectivement à un nombre de voix du masque égal à 37, 3 et 2. Ceci fait apparaître le fait que cet indicateur n'est pas uniquement lié à l'intelligibilité mais qu'il est aussi fonction du nombre de voix du masque. Deux valeurs de cet indicateur peuvent ainsi correspondre à deux niveaux intelligibilité extrêmement différents selon le nombre de voix du masque. Par exemple pour 3 voix de masque et un niveau d'intelligibilité de la voix dominante à 8% cet indicateur prend une valeur (3,1 dB) très proche de celle d'un signal composé d'un masque de 37 voix avec un niveau d'intelligibilité de la voix dominante à presque 100 % (3,3 dB).

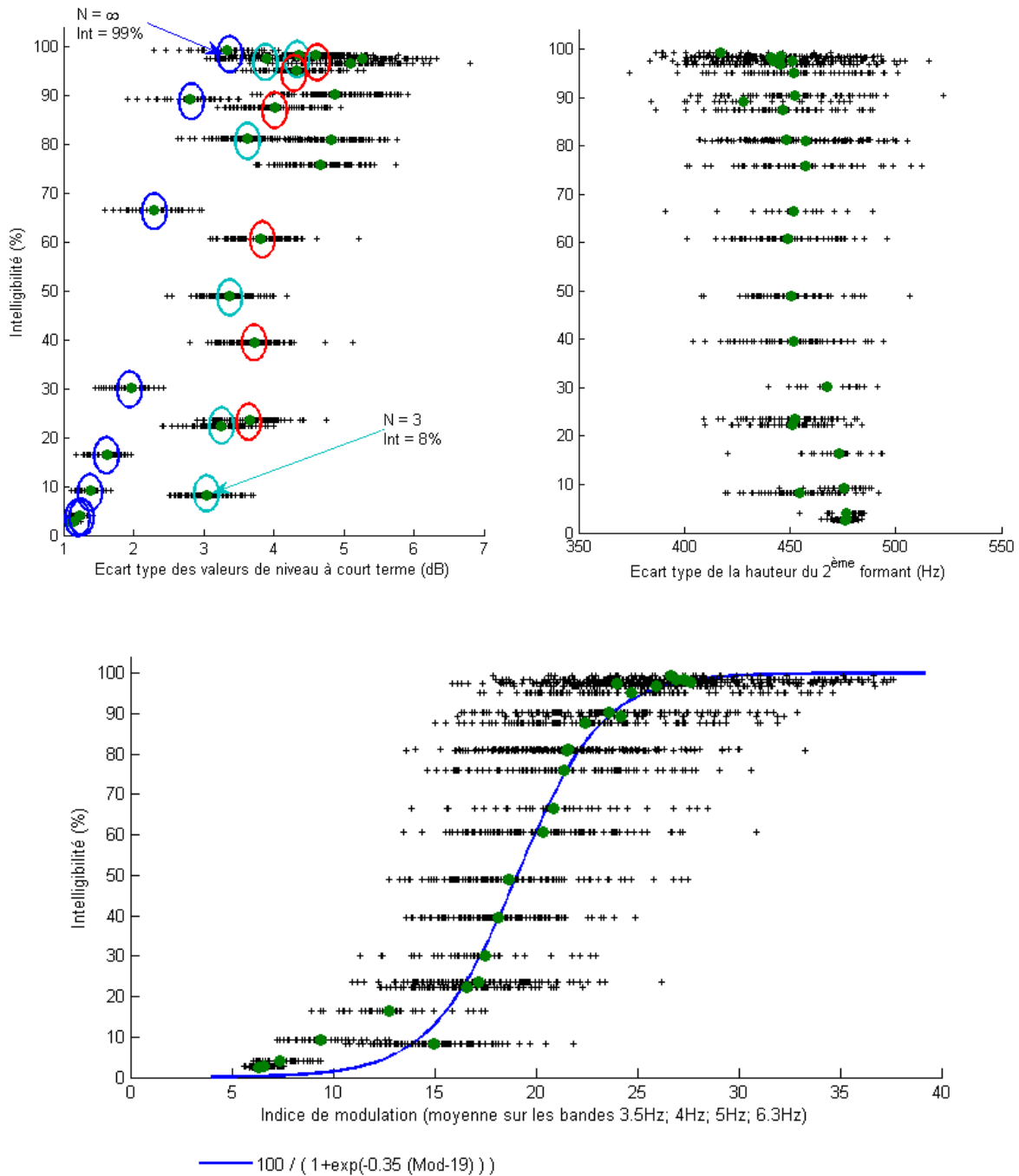


Figure 7: Scores d'intelligibilité en fonction (haut gauche) de l'écart-type du niveau à court terme (haut droite) de l'écart-type de la hauteur du 2^{ème} format (bas) de l'indice de modulation. Les croix représentent les valeurs individuelles, les points verts, les valeurs moyennes.

En revanche, l'indice de modulation semble être un facteur permettant de décrire la variation d'intelligibilité et ceci, indépendamment du nombre de voix du masque. Si l'on s'intéresse uniquement aux valeurs moyennes de cet indicateur, on trouve une corrélation de $R^2 = 0,95$ de la régression de l'intelligibilité par une fonction logistique sur cet indicateur. Même si l'on constate une dispersion non négligeable des valeurs de modulation individuelle autour de la valeur moyenne, la corrélation établie à partir de ces valeurs individuelles reste relativement élevée $R^2 = 0,7$.

Ainsi, de l'ensemble des travaux réalisés sur les indicateurs acoustiques pouvant être mis en relation avec la gêne sonore et en particulier la présence de signaux de parole dans le bruit, il ressort :

1. qu'une méthode statistique basée sur un modèle de régression logistique n'a pas permis d'obtenir des performances satisfaisantes en termes de taux de détection et de fausses alarmes,
2. que, parmi les trois candidats potentiels testés, seul l'indicateur basé sur la modulation du signal peut être mis en relation avec la présence de parole dans du bruit.

Les résultats obtenus sont encourageants mais doivent être consolidés par des expériences complémentaires en laboratoire. Ces expériences devront tenter de mettre en relation directe l'indicateur de modulation et la gêne sonore. Si au travers de ces expériences, la gêne est avérée il conviendra de vérifier si le facteur de gêne est l'intelligibilité de la parole elle-même (mesurable par un score d'intelligibilité) ou simplement le facteur de modulation qui n'est lui-même qu'un des facteurs de l'intelligibilité. Le cas échéant, il pourra être établi qu'un simple descripteur physique de la modulation du bruit ambiant permet de traduire si l'environnement de travail est satisfaisant ou non du point de vue de la gêne sonore.

Résultats scientifiques

La majorité des objectifs initiaux a été atteinte. Ainsi, les enquêtes ont permis d'identifier les sources de gêne acoustique pour les occupants de bureau paysager. Le rôle prédominant des conversations intelligibles a été mis en évidence, ce qui confirme les résultats de l'enquête suisse sur les bureaux (2010). Cependant, contrairement à cette enquête, nous n'avons pas noté d'effet spécifique des "demi-conversations" téléphoniques. On pouvait s'attendre à ce que de telles sources, en masquant une partie de la conversation, augmente l'attention des sujets tournée vers elles, au détriment des tâches à réaliser; cela ne semble pas être décrit par les personnes ayant répondu au questionnaire. Par ailleurs, conformément à ce qui était annoncé, un lien entre la gêne sonore et la santé déclarée par les personnes a été mis en évidence : le coefficient de corrélation entre les deux critères est de -0.29, ce qui est une valeur faible mais suffisamment élevée, compte-tenu du nombre de réponses, pour indiquer une relation significative.

Dans le projet initial, la définition des expériences en laboratoire n'était pas très détaillée, car cette définition devait dépendre des résultats obtenus sur le terrain. Par ailleurs, la littérature relate beaucoup de telles expériences, avec des résultats parfois très différents. Par exemple, certaines tâches sont totalement insensibles aux conditions de bruit (Jahncke *et al.*, 2013). D'autre part, les résultats semblent très dépendants des sujets : dans de telles conditions de laboratoire, au cours d'expériences de durée limitée, certains participants sont capables de mobiliser toutes leurs ressources cognitives pour mener à bien la tâche qui leur est demandée, aussi adverse soit l'environnement. La thèse déjà citée d'Ange Ebissou (2013) a ainsi montré que l'intelligibilité de la parole n'est pas forcément pénalisante pour certains sujets (Ebissou *et al.*, 2014). La plupart des études citées dans la littérature utilisant des nombres de sujets assez réduits peut alors expliquer en partie la variabilité des résultats présentés.

Devant cette abondance de résultats parfois contradictoires, nous avons souhaité dans un premier temps vérifier la pertinence d'expériences en laboratoire. C'était l'objectif de la première campagne d'essais, qui a effectivement permis de retrouver la prédominance de la source "parole intelligible". Cependant, il est étonnant que cette particularité se retrouve sur la mesure objective de performance et non sur l'évaluation de la gêne (voir figure 4), alors que cette évaluation était l'objet des questionnaires.

La seconde expérience voulait mieux apprécier l'intérêt d'un indicateur d'intelligibilité voulant représenter le masquage par un bruit non-stationnaire. En effet, le modèle désormais classique de Hongisto (2005) utilise le Speech Transmission Index pour prédire la gêne dans un bureau ouvert; ceci veut représenter la perturbation apportée par un collègue proche dont on comprend la conversation. Mais le bruit masquant cette conversation n'est pas stationnaire dans de tels locaux, car

issu d'autres conversations de collègues plus lointains. On pouvait donc imaginer que le STI présente de sérieuses limitations. La seconde expérience en laboratoire était conçue dans l'objectif de vérifier cette hypothèse. Elle n'a pas permis de mettre en défaut le STI, sauf, on l'a mentionné plus haut, pour un sous-groupe d'auditeurs. Cette variabilité importante des sujets est un élément très rarement mentionné dans la littérature, qui nécessite d'utiliser des groupes d'effectifs plus importants que ceux réunis habituellement. De même, elle donne l'idée que les durées courtes d'exposition utilisées classiquement (y compris dans l'étude GABO) sont insuffisantes pour représenter les effets réels.

Tableau de suivi de réalisation des tâches et d'utilisation des ressources

Tâche	Partenaire responsable	Etat d'avancement	Date de fin prévue	Principales réalisations
T1 : enquêtes terrain	INSA-Lyon	Achevé	30/6/2013	Réalisation d'un questionnaire Recueil de réponses dans des entreprises Mise en évidence des sources de gêne prédominantes
T2 ; expériences en laboratoire	INSA-Lyon	Achevé	31/5/2014	Validation de la source prédominante (parole intelligible) Test de l'indicateur STIt
T3 : développement d'indicateur	INRS	Achevé	15/6/2014	Proposition d'un indicateur de détection de parole intelligible dans un bruit.
T4 : Validation	INRS	Abandonnée faute de temps et étant données les limitations des expériences en laboratoire.		

Liste du personnel financé par ou ayant contribué au projet

Personnels financés par le projet :

Marjorie Pierrette
INSA-Lyon, Laboratoire Vibrations Acoustique
Chercheuse post-doctorale (établissement du questionnaire)
Temps consacré au projet : 9 mois

Laurent Brocolini
INSA-Lyon, Laboratoire Vibrations Acoustique
Chercheur post-doctoral (réalisation des expériences en laboratoire)
Temps consacré au projet : 9 mois

Autre personnes ayant contribué au projet, financés par les partenaires INSA-Lyon ou INRS :

Etienne Parizet
INSA-Lyon, Laboratoire Vibrations Acoustique
Professeur
Temps consacré au projet : 6 mois

Patrick Chevret
INRS, Laboratoire Réduction du bruit au travail
Chercheur
Temps consacré au projet : 6 mois

Jacques Chatillon
INRS, Laboratoire Réduction du bruit au travail
Chef de laboratoire
Temps consacré au projet : 1 mois

Jérémy Rouch
INRS, Laboratoire Réduction du bruit au travail
Chercheur post-doctoral
Temps consacré au projet : 9 mois

4. DISSEMINATION DES RESULTATS ET TRANSFERT DE CONNAISSANCES

Liste des publications scientifiques

M. Pierrette, E. Parizet, P. Chevret, J. Chatillon. Noise effect on comfort in open-space offices : development of an assessment questionnaire. Ergonomics – sous presse (2014).
DOI: 10.1080/00140139.2014.961972

L. Brocolini, E. Parizet. Laboratory experiments of performance and annoyance in open-plan offices simulated situations : validation of a stationary intelligibility index. Article en préparation pour la revue Applied Acoustics.

M. Pierrette, E. Parizet, P. Chevret. Perception and evaluation of noise sources in open-plan offices. Actes du congrès International Congress on Acoustics 2013, Montréal (Canada), Juin 2013.

L. Brocolini, E. Parizet, P. Chevret, J. Chatillon. Influence du type de source sonore sur l'évaluation de la gêne et de la performance dans les bureaux ouverts. Actes du 12^{ème} Congrès Français d'Acoustique 2014, Poitiers, Avril 2014 , pp. 2307-2313.

J. Rouch, P. Chevret. Identification de paramètres physiques du signal pour l'évaluation de la gêne en bureaux ouverts. Actes du 12^{ème} Congrès Français d'Acoustique 2014, Poitiers, Avril 2014 , pp. 2323-2329.

Participation à des manifestations scientifiques : posters et présentations

International Congress on Acoustics 2013 (Montréal, Canada, Juin 2013).
12^{ème} Congrès Français d'Acoustique (Poitiers, Avril 2014).

Contribution à l'expertise

Patrick Chevret est membre du groupe AFNOR ayant établi le projet de norme NF S31-199. Ce projet veut améliorer la norme S31-080 "Acoustique – Bureaux et espaces associés – Niveaux et critères de performances acoustiques par type d'espace". Le projet S31-199 comprend le questionnaire développé par GABO, proposé pour évaluer la qualité de l'espace de travail.

Produits issus des travaux

Les réponses au questionnaire ont été traduites dans une base de données destinée à s'étoffer. En effet, depuis la fin du projet, ce questionnaire a été utilisé dans plusieurs autres entreprises; les dépouillements sont en cours et alimenteront la base de données. Ceci permettra de répéter les analyses menées dans le cadre du projet avec un nombre de réponses supérieur aux 237 recueillies jusqu'à présent. A l'avenir, l'opération sera répétée afin d'affiner la précision statistique des résultats.

5. RETOMBEES ET PERSPECTIVES

Contribution à l'évaluation et à la gestion des risques sanitaires

Le questionnaire mis au point pendant l'étude et inclus dans le projet de norme NF S31-199 permet de réellement connaître le confort, notamment acoustique, de personnes travaillant dans un bureau ouvert. Les indicateurs d'exposition au bruit sont inadaptés dans ces locaux, car le niveau global est beaucoup plus faible que les valeurs réglementaires. Pourtant, les occupants se plaignent du bruit : il est donc nécessaire de disposer des outils permettant d'objectiver ces doléances et d'identifier les sources prédominantes, étapes préalables à une amélioration des locaux.

Les développements d'un indicateur sont une première piste vers la proposition d'une mesure simple permettant de quantifier la qualité acoustique d'un bureau ouvert. Les moyens actuels de simulation d'acoustique des salles permettent d'imaginer calculer cet indicateur avant même que le bureau existe, donc au stade du projet de construction ou de ré-aménagement. Cependant, la phase de validation manque pour permettre de proposer un indicateur dont la fiabilité est assurée, donc pouvant être proposé aux aménageurs et aux sociétés utilisant des bureaux ouverts.

Poursuite des travaux

Les deux partenaires sont engagés dans un projet de thèse visant à mieux reproduire en laboratoire des conditions réelles, notamment du point de vue de la durée. L'étude consistera à observer des personnes travaillant en bureau ouvert et à mesurer à intervalles de temps réguliers leur état de fatigue. Ceci pourra être fait par des moyens de mesures physiologiques. Nous recherchons actuellement un laboratoire spécialiste de ce domaine pouvant nous aider dans le choix de telles mesures – si elles existent – et dans leur mise en œuvre. On peut également imaginer demander aux personnes de remplir une tâche particulière à certains moments de la journée (par exemple, une tâche de rapidité de réaction, le temps de réaction pouvant être un indicateur de leur état de fatigue). L'objectif est ici d'identifier une durée minimale pouvant mettre en évidence un accroissement de fatigue. Cette durée sera alors retenue comme celle d'expériences en laboratoires reprenant des bruits d'exposition divers. Ainsi, nous espérons pouvoir lever des ambiguïtés des résultats obtenus lors de GABO, et pouvoir valider l'indicateur détectant une parole intelligible dans du bruit proposé dans le cadre de ce projet.

Références

- Brungart D., Simpson B., Ericson M., Scott K. (2001). "Informational and energetic masking effects in the perception of multiple simultaneous talkers". *J. Acoust. Soc. Am.* 110(5), 2527-2538.
- Ebissou A. (2013). "Gêne sonore en bureaux ouverts : impact de la présence de plusieurs voix intelligibles". Thèse de doctorat, INSA-Lyon.
- Ebissou A., Parizet E., Chevret P. (2015). "Use of the speech transmission index for the assessment of sound annoyance in open-plan offices". *Applied Acoustics* 88, 90-95.
- Fleury-Bahi, G., Marcouyeux, A. (2011). "Evaluer la satisfaction envers l'espace de travail: Développement d'une échelle et première validation". *Psychologie du Travail et des Organisations*, 17, 376-392.
- Grosjean, V., Kop, J., Formet-Robert, N., Parmentier, C. (2012). "Un questionnaire d'évaluation de la santé au travail pour la prévention, le diagnostic et l'intervention – Manuel d'utilisation". *Les Notes Scientifiques et Techniques de l'INRS*, 272, 39 p.
- Haapakangas A., Haka M., Keskinen E., Hongisto V. (2008). "Effect of speech intelligibility on task performance – an experimental laboratory study", *Proc. 9th Int. Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN)*.
- Hongisto V. (2005). "A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance", *Indoor Air* 15, 458-468.
- Jahncke H., Hongisto V., Virjonen P. (2013). "Cognitive performance during irrelevant speech : effect of speech intelligibility and office-task characteristics". *Applied Acoustics* 74, 307-316.
- Rhebergen K., Versfeld N., Dreschler W. (2006). "Extended speech intelligibility index for the prediction of the speech reception threshold in fluctuating noise", *J. Acoust. Soc. Am.* 120(6), 3988-3997.
- Schlittmeier S., Hellbrück J., Thaden R., Vorländer M. (2008). "The impact of background speech varying in intelligibility : effects on cognitive performance and perceived disturbance", *Ergonomics* 51(5), 719-736.
- Schutte, M., Marks, A., Wenning, E., and Griefahn, B. (2007a). "The development of the noise sensitivity questionnaire". *Noise and Health*, 9(34), 15-24.
- Schutte, M., Sandrock, S., and Griefahn, B. (2007b). "Factorial validity of the noise sensitivity questionnaire". *Noise and Health*, 9(37), 96-100.