



**HAL**  
open science

## Confort acoustique des systèmes de traitement d'air

Antoine Minard, Anas Sakout, Bertrand Goujard, Antony Ponzio

► **To cite this version:**

Antoine Minard, Anas Sakout, Bertrand Goujard, Antony Ponzio. Confort acoustique des systèmes de traitement d'air. 10ème Congrès Français d'Acoustique, Apr 2010, Lyon, France. hal-00541708

**HAL Id: hal-00541708**

**<https://hal.science/hal-00541708>**

Submitted on 1 Dec 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# 10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

## Confort acoustique des systèmes de traitement d'air

Antoine Minard<sup>1</sup>, Anas Sakout<sup>1</sup>, Bertrand Goujard<sup>1</sup>, Antony Ponzo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LEPTIAB, avenue Michel Crépeau 17042 La Rochelle Cedex 1, {antoine.minard,anas.sakout}@univ-lr.fr, bertrand.goujard@eigsi.fr

Les standards actuels des constructions de bureaux incluent l'installation des systèmes de traitement d'air (STA) individuels. Ces systèmes répondent à des critères de rendement et de consommation énergétique. En matière de confort acoustique, la seule mesure normalisée permet d'indiquer le bruit rayonné en dB(A). Cette mesure, bien qu'étant fondée sur une pondération fréquentielle liée à l'audition humaine, ne reflète pas parfaitement certaines spécificités de la perception sonore, et notamment de la qualité perçue. L'évaluation de la qualité acoustique devient donc une priorité pour les industriels et beaucoup se tournent aujourd'hui vers un processus de " design sonore " dans lequel l'évaluation perceptive du confort acoustique est une étape primordiale parce qu'elle permet de définir les spécifications acoustiques du produit. Des études précédentes, dans le milieu automobile plus particulièrement, ont permis de montrer que l'acoustique d'un système de ventilation peut être décomposée en plusieurs dimensions perceptives. Celles-ci sont directement ou indirectement dépendantes d'indices physiques mesurables (niveau sonore, rugosité, acuité, etc.). L'étude réalisée au sein du LEPTIAB s'inscrit dans cette optique et tente de montrer comment et avec quels outils nous pouvons chercher et trouver des indicateurs pour caractériser, mesurer et prévoir la qualité acoustique perçue des STA. Pour ce faire, une étude expérimentale avec des auditeurs volontaires a été menée sur des sons de différents types de STA. Les résultats de ces études ont été analysés dans le but d'établir, dans un premier temps, une échelle de préférence parmi les sons du corpus établi, et, dans un second temps, un indicateur fiable du confort ressenti des STA.

## 1 Introduction

L'évaluation de la qualité sonore fait l'objet d'un grand intérêt dans beaucoup d'études, du fait de son application importante dans le monde industriel. En effet, l'acoustique devient une priorité pour les entreprises, car le choix des consommateurs passe, entre autres, par le confort acoustique lié au produit. Les processus de fabrication devenant avec les progrès technologiques de plus en plus efficaces et standardisés, les industriels cherchent de nouveaux moyens de se démarquer de la concurrence en améliorant leurs produits selon d'autres critères que la seule efficacité à remplir leur fonction. Ainsi, beaucoup se tournent aujourd'hui vers un processus de « design sonore » dans lequel l'évaluation du confort acoustique est une étape primordiale parce qu'elle permet de définir les spécifications acoustiques du produit. Les industriels, qui, pendant longtemps, se sont limités à rendre leur produit le plus silencieux possible, adoptent aujourd'hui d'autres démarches de recherche fondées sur l'évaluation perceptive de la qualité sonore du produit, afin d'identifier les paramètres acoustiques influent sur le confort ressenti. Ils cherchent ainsi à définir dans quelle mesure les paramètres perceptifs influant sur le caractère gênant, désagréable ou intrusif du son produit par un objet conçu pour remplir une certaine fonction et non pour avoir un « beau » son, contrairement aux instruments de musique, par exemple.

Dans cette optique, les travaux présentés ici font partie d'une étude en cours abordant la problématique du confort acoustique des systèmes de traitement d'air.

Il s'agit donc d'évaluer dans quelle mesure les caractéristiques propres à ce type de sons influent sur l'agrément acoustique ressenti par les auditeurs. Pour ce faire, il est nécessaire de trouver une relation entre le signal émis, qui est objectif et enregistrable, et la sensation qu'il provoque sur les êtres humains. Plus précisément, nous tentons d'identifier le ou les principaux paramètres acoustiques pertinents permettant de prédire l'agrément ressenti.

Dans un premier temps, il est indispensable de définir quelques concepts de base sur lesquels se fonde cette approche : nous décrirons les principales méthodologies expérimentales associées à l'étude de la qualité sonore, puis nous présenterons les paramètres acoustiques habituellement utilisés comme prédicteurs. Nous aborderons ensuite en détails le travail expérimental préliminaire entrepris dans le cadre de l'étude des STA, allant des prises de son réalisées dans les locaux de l'entreprise à l'expérience perceptive réalisée afin d'identifier une échelle de préférence et d'en trouver un indicateur physique efficace.

### 1.1 Étude la qualité acoustique : méthodologies

De nombreuses méthodes expérimentales de mesure de la qualité sonore sont mentionnées dans la littérature, et s'avèrent plus ou moins adaptées. On peut en trouver un inventaire assez exhaustif dans [1]. La méthode idéale n'existe évidemment pas. tout dépend du contexte et des objectifs de l'étude : grandeur à mesurer, nombre de stimuli, durée admissible de l'expérience, etc. Bien

souvent, dans un but de précision, plusieurs paradigmes expérimentaux sont associés entre eux. Le premier a alors comme objectif de définir les attributs perceptifs pertinents pour les sons considérés. Le second tente d'associer ces attributs à l'information recherchée. Pour l'étude de la qualité sonore, en pratique, on peut regrouper les méthodologies utilisées en deux principales approches différentes, chacune faisant appel à un couple d'expériences perceptives.

**Étude du timbre associée à une étude de préférence :** L'idée majeure de cette méthode [2] est d'établir une échelle continue et unidimensionnelle de la qualité sonore le long de laquelle sont situés les sons étudiés. Un paradigme expérimental de comparaison par paires (voir [1]) est souvent utilisé pour réaliser cette tâche. Le principe de ce paradigme est de présenter aux auditeurs les sons par paires, et, pour chacune d'elles, de leur demander de choisir le son qu'ils préfèrent. Toutefois, toute autre méthode permettant d'obtenir une échelle unidimensionnelle pourrait également convenir. Une fois cette échelle obtenue, il est nécessaire de la relier à des caractéristiques calculables sur le signal sonore, c'est-à-dire des descripteurs audio. Il paraît alors naturel de calculer un coefficient de corrélation avec l'échelle expérimentale mesurée. Cependant, deux problèmes se posent alors.

- D'une part, les descripteurs audio existants ne manquent pas et la possibilité de tomber sur un descripteur corrélé de manière fortuite n'est pas négligeable. En d'autres termes, une bonne corrélation ne signifie pas nécessairement que le descripteur en question est un bon prédicteur de l'échelle mesurée, surtout si l'on teste beaucoup de descripteurs sur un nombre relativement faible de stimuli.
- D'autre part, il est fort possible que la variance de l'échelle mesurée soit en théorie partiellement expliquée par plusieurs descripteurs. Il est alors fort probable que le coefficient de corrélation de chaque descripteur ne soit pas significatif. Certaines méthodes statistiques permettent d'expliquer une variable dépendante (ici l'échelle mesurée) par un ensemble de variables indépendantes (ici les descripteurs). Toutefois, il est nécessaire de nouveau d'avoir au préalable identifié les quelques descripteurs pertinents (2 ou 3 tout au plus), compte tenu du nombre de combinaisons possibles de descripteurs.

Il est donc nécessaire d'identifier les descripteurs pertinents pour la prédiction de l'échelle mesurée. Or, les jugements de préférence établis pendant l'expérience de comparaison par paires, par exemple, ne peuvent être effectués que sur la base des attributs perceptifs permettant de différencier les sons. En effet, si un attribut n'entre pas en jeu dans la discrimination de 2 sons, il est fort logique qu'il n'intervienne pas non plus dans les jugements de préférence. C'est pour répondre à cette problématique que l'étude des préférences est souvent associée à une étude du timbre dans le but d'identifier les attributs qui émergent de la perception associés au corpus sonore étudié. Cette étude du timbre est en général réalisée grâce à une expérience de mesure de si-

milarités (voir [1]), où on demande aux auditeurs, pour chaque paire de sons, d'évaluer à quel point les deux sons sont semblables ou dissemblables. L'analyse des résultats d'une telle expérience permet d'établir un espace multidimensionnel réduit représentant l'espace perceptif associé au corpus sonore. Chacune des dimensions de cet espace représente donc un attribut perceptif émergent qu'il convient de corrélérer à un descripteur audio pertinent. Le jeu de descripteurs obtenu peut alors être utilisé afin d'expliquer les préférences.

Le gros avantage de cette méthode est que les seules questions posées aux auditeurs, dans les expériences employées, sont aussi simples et neutres que « À quel point les deux sons sont-ils semblables ? » (pour l'étude du timbre) et « Quel son préférez-vous ? » (pour l'étude des préférences). Cette neutralité assure que les auditeurs ne seront pas influencés par la terminologie utilisée. De plus, les valeurs mesurées sont assez précises et la méthodologie est statistiquement valide, car on ne fait aucune hypothèse de départ sur les descripteurs audio associés à la qualité sonore. En revanche, les deux expériences employées présentent une certaine « lourdeur » de mise en œuvre pour deux raisons principales : d'une part, elles font intervenir des jugements par paires, ce qui rend l'expérience à la fois longue et limitée en nombre de stimuli étudiés ; et d'autre part, cette simplicité/neutralité des questions posées rend ces paradigmes assez rébarbatifs, ce qui peut entraîner un manque d'implication des auditeurs.

**Etude de verbalisation associée à une expérience de différentiels sémantiques.** La méthode des différentiels sémantiques (voir [1]) est un paradigme expérimental permettant également d'extraire les attributs perceptifs d'un corpus sonore, ainsi que certaines autres caractéristiques particulières comme la qualité sonore. Son principe est de demander aux auditeurs d'évaluer chacun des sons sur différentes échelles sémantiques prédéfinies. Cette méthode, qui permet de relier rapidement l'évaluation perceptuelle de la qualité sonore avec des attributs acoustiques, présente toutefois certains inconvénients. Tout d'abord, il n'est pas certain que chacune des échelles sera interprétée de la même façon par l'ensemble des auditeurs ; certains adjectifs employés pour définir ces échelles moins univoques que d'autres. De plus, il n'est pas certain que l'ensemble des échelles choisies soit suffisant pour décrire toutes les propriétés des sons étudiés. Certaines échelles peuvent également s'avérer redondantes. Pour ces raisons, le choix de la terminologie employée est critique et ne peut être fait qu'expérimentalement afin qu'il soit valide perceptuellement.

Pour cette raison, on associe souvent le paradigme des différentiels sémantiques à une étape expérimentale préalable de verbalisation. On demande donc aux auditeurs de décrire avec leurs propres mots les critères leur permettant d'effectuer des jugements de similarités et de préférences. Une analyse sémantique des descriptions verbales obtenues permet d'extraire une terminologie qui présente une forte redondance entre les sujets et dont l'interprétation ne prête pas à confusion. Cette terminologie, qui définit verbalement les attributs de la perception, permet alors d'identifier les échelles à évaluer

lors de l'expérience de différentiels sémantiques.

Les échelles obtenues par cette méthodologie sont analysées au moyen d'un outil statistique particulier : l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Le principe de celle-ci est d'établir, par combinaisons linéaires des échelles mesurées, un ensemble restreint de variables indépendantes – les composantes principales – permettant d'expliquer au maximum la variance de ces échelles. L'intérêt de cette méthode est de réduire la dimensionnalité de l'espace constitué par les différentes échelles en éliminant notamment les redondances entre celles-ci tout en conservant un maximum de variance expliquée. On obtient donc un espace de faible dimensionnalité que l'on peut grossièrement associer à l'espace de timbre. Il est alors possible d'observer comment se comporte l'échelle particulière de qualité sonore parmi les premières composantes et ainsi en déduire les descripteurs audio pertinents.

Le gros avantage de cette méthodologie est l'extraction et l'utilisation d'une terminologie validée perceptivement. Ceci permet notamment d'obtenir des résultats souvent assez « parlants ». En revanche, les différents aspects des sons (attributs perceptifs, descripteurs audio, ...) sont ici quelque peu confondus, et l'étude n'est pas vraiment centrée sur la qualité sonore. De plus, il est possible que certaines caractéristiques, pourtant importantes pour la perception, n'émergent pas d'une telle étude car elles font appel à des notions trop abstraites, ce qui entraîne souvent des disparités dans la façon de les exprimer ; elles sont alors souvent « oubliées » par l'analyse des verbalisations. En effet, les auditeurs non-entraînés n'ont pas nécessairement l'habitude de décrire verbalement les sons de leurs environnement et les sensations qu'ils provoquent.

## 1.2 Paramètres acoustiques associés à la qualité sonore

Dans la littérature, on peut trouver de nombreuses études qui tentent d'identifier les attributs perceptifs pertinents comme indicateurs de qualité sonore. On peut résumer ces attributs comme suit :

- La sonie, qui correspond au percept d'intensité sonore. Ce paramètre a souvent été identifié comme indicateur prépondérant des jugements obtenus expérimentalement, au point parfois de masquer l'influence plus subtile d'autres attributs. Des modèles fondés sur la physiologie de l'oreille humaine [3, 4], également nommés « sonie », représente assez fidèlement cet attribut.
- L'émergence harmonique, qui représente l'amplitude relative des parties harmonique et bruitée du son. Elle est souvent caractérisée par un calcul de ratio d'intensité entre les deux parties du signal préalablement séparées, et inclue souvent un modèle de perception similaire à celui utilisé pour le calcul de la sonie.
- La brillance, qui décrit la répartition de l'énergie sur l'échelle des fréquences. Les descripteurs audio souvent associés sont ceux caractérisant l'enveloppe spectrale du son et peuvent également inclure un modèle perceptif (par exemple l'acuité [5]).

- Les fluctuations d'amplitude du son au cours du temps. Les descripteurs audio correspondants sont la rugosité et la force de fluctuation [6].

Nous laissons volontairement de côté les paramètres temporels (durée, attaque...) et les paramètres de hauteur tonale, compte tenu de la nature stationnaire des sons considérés ici et de la faible émergence perceptive de hauteur tonale pour ce type de son.

Bien souvent, afin de tester la pertinence d'un descripteur en tant qu'indicateur d'une grandeur mesurée perceptivement, on utilise la régression linéaire entre le descripteur et la mesure. Le coefficient de corrélation obtenu permet de confirmer ou d'infirmer la pertinence du descripteur. Cependant, à l'exception de la sonie, il est rare que ces attributs et les descripteurs associés expliquent à eux seuls toute la variance des jugements de qualité observés. Il est alors probable que chaque attribut n'en explique qu'une part. Ceci amènera irrémédiablement des coefficients de corrélation statistiquement non-significatifs avec les descripteurs correspondants. Ces descripteurs peuvent alors être écartés par erreur.

Il convient alors d'étudier la possibilité d'expliquer la variance de la mesure par plusieurs descripteurs à la fois. Ils sont alors souvent combinés par un procédé qui a pour but de modéliser l'influence conjointe de ces paramètres sur la qualité perçue : la régression multilinéaire. Le principe de cette méthode est globalement le même que celui de la régression linéaire. Cette dernière tente de modéliser la relation mesure/descripteur par une fonction affine, de la forme  $f(x) = ax + b$ . De manière similaire, la régression multilinéaire vise à modéliser la mesure par une combinaison linéaire d'un ensemble réduit de descripteurs. Ceci aboutit à une relation du type  $f(x) = \sum_i a_i x_i + a_0$ , pour un ensemble de descripteurs  $x = \{x_i\}$ . Il est alors également possible d'évaluer l'efficacité du modèle en calculant un coefficient de corrélation entre la mesure et le « méta-descripteur »  $\sum_i a_i x_i$ .

Toutefois, cette méthode est relativement « dangereuse » si elle n'est pas appliquée avec précaution. En effet, le fait de multiplier le nombre de descripteurs utilisés pour la régression augmente rapidement la probabilité d'obtenir un bon coefficient de corrélation de manière fortuite. En conséquence, obtenir un bon score de corrélation par cette méthode ne garantit que la relation mesure/descripteurs a une signification. En pratique, on limite d'ailleurs le nombre de descripteurs à 2 ou 3, pour un nombre de points de mesure de quelques dizaines d'éléments. Ces limitations nécessitent parfois de tester la robustesse du modèle (c'est-à-dire les coefficients  $a_i$ ), en l'appliquant sur d'autres sons, et en observant la stabilité de la corrélation donnée obtenue avec les mêmes coefficients.

Malgré cela, du fait de sa simplicité de mise en œuvre, l'usage de cette méthode est très répandu dans la littérature, ne serait-ce que pour le cas d'études préliminaires. En effet, elle permet souvent d'établir une première approximation de la relation mesure/descripteurs. Ellermeier et al. [7] ont appliqué cette méthode à un ensemble de sons variés de notre environnement quotidien, et à ces mêmes sons traités par la méthode dite de « *spectral broadening* » .

Cette méthode, développée par Fastl [8], consiste grossièrement à reconstruire les signaux à partir de leurs enveloppes spectrale et temporelle uniquement, de sorte à leur ôter leur « identifiabilité ». La méthode donne de bons résultats pour les sons traités, pour lesquels la régression multilinéaire sur la sonie, l’acuité et la rugosité permet d’expliquer 86 % de la variance des jugements de préférence. Cependant, la même méthode ne permet pas d’expliquer plus de 75 % de la variance pour les sons réels.

D’autres modèles plus complexes de prédiction de la qualité sonore fondés sur plusieurs descripteurs existent comme celui – non-linéaire – mentionné par Fastl [9], fondé sur la sonie, l’acuité, la rugosité et la force de fluctuation, ou comme celui utilisé par McAdams et al. [10] et Susini et al. [2, 11] utilisant des fonctions polynomiales par morceaux, appliquées notamment aux descripteurs de sonie, de brillance et d’émergence harmonique. Ces méthodes donnent également de bons résultats, parfois meilleurs que ceux obtenus par la simple régression multilinéaire, mais il est de même parfois difficile d’en affirmer la significativité statistique.

## 2 Étude expérimentale

L’étude expérimentale que nous avons menée a pour but principal d’établir un lien entre la qualité perçue des sons de différents systèmes de traitements d’air fournis par l’entreprise et les signaux sonores correspondant. Pour ce faire, nous avons mis en place une expérience perceptive dont le but était d’établir, à partir de notre corpus de sons, une échelle d’agrément/désagrément.

### 2.1 Méthodologie adoptée

Les deux méthodologies présentées en section 1.1 présentent leurs propres avantages et inconvénients. Cependant, notre volonté de concentrer l’étude, et donc le travail expérimental, sur la qualité sonore des STA nous a poussés à préférer la méthode qui associe étude de timbre et étude des préférences.

Par ailleurs, nous avons observés que de nombreuses études du timbre portant sur des types de sons assez proches de ceux que nous étudions ici (habitacles automobiles [2, 10], unité intérieure de climatisation [11]) avaient déjà été menées. Une autre étude [12, 13] a d’ailleurs tenté de généraliser les études de timbres portant sur des mêmes types de sons. Notamment, une des classes sonores qui émerge de cette étude (moteurs accompagnés d’interactions aériennes) recoupe celle des systèmes de traitement d’air. Une des conclusions majeures de cette étude était que des sons du même type partagent globalement un espace perceptif commun. Nous pouvons donc naturellement supposer que les sons de systèmes de traitement d’air vont eux aussi partager l’espace perceptif identifié au cours de cette étude.

En se fondant sur cette hypothèse, nous avons choisi, dans un premier temps, de ne pas réaliser d’étude de timbre pour nous concentrer sur l’étude de la qualité sonore. Nous considérons donc que l’espace perceptif établi au cours de cette étude s’applique aux sons des systèmes de traitement d’air.

## 2.2 Protocole expérimental

**Principe** Le paradigme utilisé est un paradigme nommé « évaluation comparée » [1, 14]. Cette procédure est en fait un compromis entre les paradigmes d’évaluation absolue et de comparaison par paires. L’idée est de remédier aux défauts respectifs des deux méthodes, un manque de précision pour la première, une limitation du ratio nombre de stimuli / durée de l’expérience pour la seconde. Le principe de l’évaluation comparée est, comme pour l’évaluation absolue, de demander aux auditeurs d’évaluer quantitativement les sons sur l’échelle désirée, mais les auditeurs ont en permanence la possibilité de réécouter et de réévaluer chacun des sons au cours de l’expérience. Ceci permet aux auditeurs d’affiner la façon dont ils perçoivent l’échelle demandée au cours de l’expérience, de sorte à obtenir une représentation la plus fidèle de leur perception des sons. L’échelle n’est alors plus absolue mais relative.

**Stimuli :** 10 sons stéréophoniques, correspondant chacun à un système de traitement d’air différent, ont été utilisés pour cette expérience. Ces sons ont été enregistrés dans une chambre semi-anéchoïque, à environ 1 mètre de chaque machine, et à l’aide d’une tête binaurale Neumann KU100 et d’une interface audio RME Fireface 400 (figure 1). Il est à noter que les sons n’ont pas subi d’égalisation en sonie.



FIGURE 1: Enregistrement des sons de STA.

**Participants :** 29 auditeurs volontaires (20 hommes, 9 femmes, entre 20 et 60 ans), n’ayant pas fait mention d’un problème majeur d’audition, ont pris part à cette expérience.

**Matériel de test :** L’expérience a été réalisée grâce à une interface graphique programmée en LabVIEW 7.0 (figure 2). Cette interface donnait également aux auditeurs la possibilité, au cours du test, de réordonner les sons en fonction de leurs évaluations, facilitant ainsi la comparaison des sons. Les sons ont été diffusés par une interface RME Fireface 400 dans un casque fermé BeyerDynamic DT 770 Pro.

**Résultats :** Malgré la consigne, certains auditeurs ont évalué les sons sur une échelle absolue, n’uti-

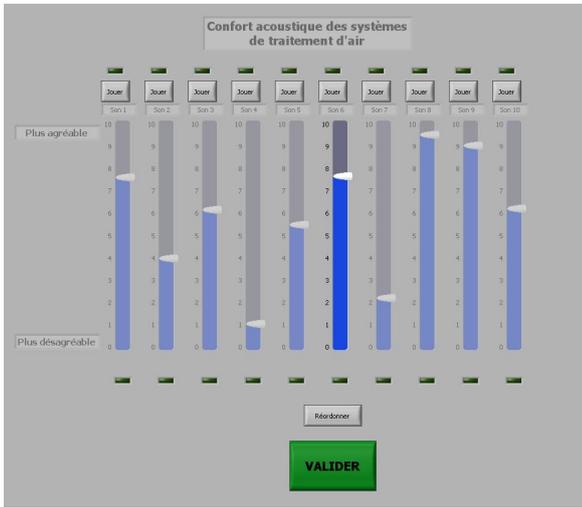


FIGURE 2: Interface graphique de l'expérience.

lisant ainsi pas toute la dynamique proposée. Cela pose un problème lorsque l'on souhaite comparer les évaluations des différents auditeurs afin d'obtenir une échelle globale, par moyennage par exemple. De plus, les écarts-types des évaluations des sons s'en trouveraient également altérés. Pour cette raison, le jeu d'évaluations de chaque auditeur a été normalisé par ses moyenne et écart-type, afin d'obtenir des échelles comparables.

Par ailleurs, il est apparu, lorsque l'on calcule le coefficient de corrélation de chaque auditeur avec les évaluations moyennes, que quelques rares participants, au nombre de 3, présentaient des résultats très divergents de ceux des autres – coefficient inférieur à 0,8 tandis que tous les autres étaient proches ou dépassaient 0,9. Ces 3 *outliers* ont donc été retirés du traitement des résultats.

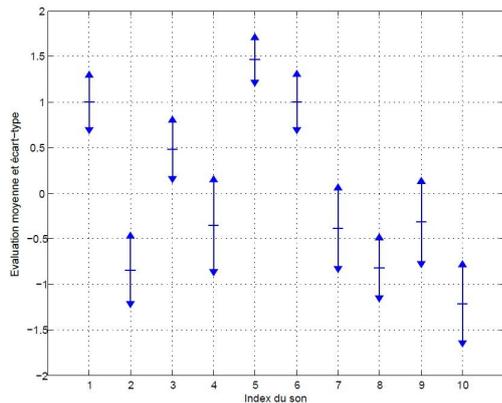


FIGURE 3: Évaluations moyennes et écarts-types.

La figure 3 présente les évaluations moyennes des 10 sons, ainsi que leur écart-type respectif. Les coefficients de corrélation élevés (proches ou supérieurs à 0,9) des résultats de chaque auditeur avec les résultats moyens, ainsi que les écarts-types observés sur la figure, faibles devant la variance des moyennes, démontrent un fort consensus des évaluations. Cela indique que les évaluations obtenues reflètent avec précision la perception des auditeurs.

Enfin, dans l'optique d'établir de manière

préliminaire un indicateur de qualité sonore, et de rejoindre les conclusions des études portées sur des sons proches de ceux considérés ici, l'échelle moyenne obtenue a été corrélée avec le résultat d'un calcul de sonie fondé sur le modèle de Zwicker et al. [3]. Le coefficient de corrélation obtenu établit un lien particulièrement fort entre l'échelle de qualité sonore mesurée et la sonie :  $R(8\text{ ddl}) = -0,98$ , ( $p < 0,01$ ). La figure 4 montre les valeurs de l'échelle mesurée en fonction de la sonie calculée par le modèle, ainsi que la droite de régression obtenue (en rouge).

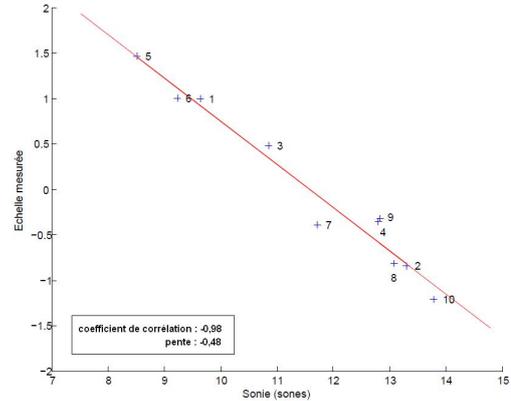


FIGURE 4: Régression linéaire entre l'échelle mesurée et la sonie.

## 2.3 Discussion

La première conclusion, quoique assez prévisible, à tirer de ce travail expérimental préliminaire est que la sonie est un parfait prédicteur de la mesure d'agrément que nous avons réalisée. Cela ne signifie pas que les autres paramètres acoustiques mentionnés n'influent pas théoriquement sur la perception des auditeurs. On constate simplement que la sonie est le paramètre prépondérant lorsque l'on s'intéresse à la perception de la qualité sonore. Compte tenu de la grande dynamique des valeurs de sonie pour le corpus utilisé, ce paramètre a probablement masqué l'effet plus subtil d'autres attributs. En revanche il est fort probable que si l'on fixe, dans le protocole expérimental, le paramètre de sonie, les auditeurs sont toujours capables de formuler des préférences parmi les sons. Cette procédure, qui est la suite logique de ce travail, est souvent réalisée grâce à une expérience d'égalisation en sonie, où l'on demande aux auditeurs de régler l'intensité sonore des stimuli au même niveau qu'un son du corpus choisi comme référence. On peut alors reproduire la même procédure expérimentale que celle présentée ici, et relier l'échelle d'agrément acoustique obtenue à d'autres paramètres acoustiques, notamment ceux mentionnés dans cet article, que l'absence d'influence de la sonie va laisser émerger.

## 3 Conclusions & perspectives

Ces travaux préliminaires nous ont donc permis d'identifier les principales méthodologies expérimentales qui permettent d'aboutir à une mesure précise de

l'agrément acoustique, ainsi que les paramètres pertinents pour la description et le design sonores le plus souvent associés à l'étude de ce paramètre. Ceci nous a permis de concevoir un protocole expérimental de prise de son, de restitution et de mesure perceptive adapté aux sons des systèmes de traitement d'air visant à identifier l'agrément acoustique ressenti par les auditeurs. L'analyse de ces données individuelles nous a permis d'obtenir une échelle objective de qualité sonore, représentant fidèlement la perception des auditeurs.

Les résultats de cette expérience préliminaire se sont avérés assez satisfaisants. Nous avons ainsi observés une bonne concordance dans les jugements des auditeurs, à quelques rares exceptions près, et avons également trouvé une forte corrélation entre notre mesure perceptive et un indicateur de sonie, confirmant ainsi notre analyse initiale de la littérature sur le sujet. On peut donc facilement conclure de ces observations que la sonie est l'indicateur acoustique majeur lorsqu'il s'agit d'apprécier l'agrément provoqué par des sons de système de traitement d'air.

Toutefois, plus généralement, il convient de s'interroger sur la pertinence écologique de telles méthodologies de mesure perceptive. En effet, nous avons pu observer, en interrogeant les auditeurs par rapport à l'expérience réalisée, que certains étaient surpris qu'on leur demande d'accomplir ce type de tâche expérimentale. En effet, l'influence acoustique de ce type de systèmes dans notre environnement ne se manifeste généralement pas au travers d'une écoute attentive des sons produits, mais plutôt au travers d'une forme « d'intrusivité » du son par rapport à notre activité ou notre environnement sonore quotidien. Il conviendrait peut-être alors de s'intéresser à l'influence de ce type de sons au cours d'une tâche ou à l'écoute d'un autre son qui capteraient l'attention des auditeurs. Nous envisageons d'aborder cette question prochainement dans le cadre de la problématique du confort acoustique des STA.

L'étude dans laquelle s'inscrit ces travaux vise également à aborder un autre point important : l'influence de l'acoustique des salles, et donc des paramètres spatiaux, paramètres particulièrement importants lorsque l'on s'intéresse à la qualité de systèmes utilisés très souvent en intérieur. En effet, le protocole de prise de son employé ici met en jeu un enregistrement binaural effectué dans une salle semi-anéchoïque, limitant ainsi les effets de salle. Se pose alors la problématique de la méthodologie associée à l'audio-conformisme, c'est-à-dire la conservation d'une manière la plus fidèle possible de l'information de spatialisation lors de l'enregistrement, du traitement et de la diffusion des sons. L'étude de ces paramètres spatiaux de la perception sonore et du confort acoustique dans le cas des systèmes de traitement d'air représente le défi majeur qui se présente à nous.

## Références

- [1] Parizet E., "Perception acoustique et qualité sonore", *Techniques de l'ingénieur*, R 6 140 (2006).
- [2] Susini P., McAdams S., Winsberg S., "A multidimensional technique for sound quality assessment",

*Acta Acustica united with Acustica*, 85, 650-656 (1999).

- [3] Zwicker E., Fastl H., "Psychoacoustics : Facts and Models", *Springer-Verlag* (1990).
- [4] Moore B.C.J., Glasberg B.G., Baer T., "A model for the prediction of thresholds, loudness, and partial loudness", *J. Audio Eng. Soc.*, 45 (4), 224-240 (1997).
- [5] Aures W., "The sensory euphony as a function of auditory sensations", *Acustica*, 58 (5), 282-290 (1985).
- [6] Daniel P., Weber R., "Psychoacoustical roughness : Implementation of an optimized model", *Acustica united with Acta Acustica*, 83, 113-123 (1997).
- [7] Ellermeier W., Zeitler A., Fastl H., "Predicting annoyance judgments from psychoacoustic metrics : Identifiable versus neutralized sounds", *Internoise 2004 Proc.*, Prague (2004).
- [8] Fastl H., "Neutralizing the meaning of sound for sound quality evaluations", *18th Int. Cong. Acoust. Proc.*, Kyoto (2001).
- [9] Fastl H., "Psychoacoustics and Sound Quality", *Commun. Acoust.*, Blauert J. (ed.), Springer (2005).
- [10] McAdams S., Susini P., Misdariis N., Winsberg S., "Multidimensional characterisation of perceptual and preference judgements of vehicle and environmental noises", *Euronoise '98 Proc.*, Munich (1998).
- [11] Susini P., McAdams S., Winsberg S., Perry I., Vieillard S., Rodet X., "Characterizing the sound quality of air conditioning noise", *Appl. Acoust.* 65, 763-790 (2004).
- [12] Minard A., Susini P., Misdariis N., Lemaitre G., McAdams S., Parizet E., "Environmental sound description : comparison and generalization of 4 timbre studies", *Workshop SID/CHI Proc.*, Florence (2008).
- [13] Misdariis N., Minard A., Susini P., Lemaitre G., McAdams S., Parizet E., "Environmental sound perception : meta-description and modeling based on independent primary studies", *EURASIP J. Audio Speech Music Process.* (2010 – à paraître).
- [14] Chevret P., Parizet E., "An efficient alternative to the paired comparison method for the subjective evaluation of a large set of sounds", *19th Int. Cong. Acoust. Proc.*, Madrid (2007).