

# 10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

## Vers la définition d'indicateurs de qualité d'anches de saxophone

Bruno Gazengel<sup>1</sup>, Jean François Petiot<sup>2</sup>, Emmanuel Brasseur<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine, UMR CRNS 6613, av. O. Messiaen, 72085 Le Mans cedex 9, {bruno.gazengel,emmanuel.brasseur}@univ-lemans.fr

<sup>2</sup>Institut de Recherche en Communications et en Cybernétique de Nantes, 1, rue de la Noë - BP 92 101 - 44321 Nantes CEDEX 03, Jean-Francois.Petiot@ircsyn.ec-nantes.fr

Le travail proposé porte sur l'étude de la qualité des anches de saxophone. Sachant que la moitié des anches d'une boîte neuve est considérée comme insatisfaisante par les musiciens, il s'avère intéressant, pour le musicien et pour le facteur d'anches, de disposer de moyens de prévoir et contrôler la qualité des anches. Ainsi, l'objectif à long terme de cette étude vise à comprendre quels paramètres physiques déterminent la qualité perçue par les instrumentistes. Dans ce but, nous proposons d'articuler l'étude en trois parties principales. La première porte sur l'évaluation des descripteurs subjectifs représentatifs de la qualité perçue, la seconde sur la caractérisation expérimentale des paramètres de jeu corrélés aux descripteurs subjectifs, la dernière sur la mesure des paramètres physiques de l'anche seule. Le travail présenté concerne la mesure de deux paramètres de jeu en situation de jeu réelle (sur musicien) : la pression de seuil et le Centre de Gravité Spectral (CGS) de la pression acoustique rayonnée. Il vise à établir la faisabilité de la mesure physique de tels paramètres et à établir quels paramètres peuvent être corrélés aux descripteurs subjectifs. Le banc de mesure met en oeuvre un capteur de pression statique mesurant la pression dans la cavité buccale par l'intermédiaire d'un cathéter et deux microphones placés respectivement au niveau du pavillon du saxophone et de l'oreille de l'instrumentiste. La pression de seuil est estimée à l'aide d'un algorithme de détection permettant d'estimer le temps de début de l'auto oscillation. Les mesures ont été réalisées pour trois anches considérées comme très différentes d'un point de vue perceptif (facilité d'émission et timbre). Les résultats obtenus montrent que les paramètres de jeu estimés par la mesure permettent de discerner les qualités perçues des trois anches.

## 1 Introduction

La qualité des instruments de musique à vent à anche simple est un problème majeur pour les facteurs d'instrument depuis de nombreuses années. Aujourd'hui les scientifiques sont en mesure d'apporter une contribution significative à la compréhension du fonctionnement des ces instruments et peuvent ainsi participer à l'amélioration du corps de l'instrument (résonateur) grâce à des outils de prédiction [1] ou de mesure [2]. Néanmoins, il reste difficile aujourd'hui de prédire et mesurer la qualité d'une anche simple. Ce point reste une difficulté pour les facteurs d'anche, d'autant plus importante aux yeux des musiciens, que souvent la moitié des anches présentes dans une boîte est considérée comme mauvaise ou de qualité moyenne.

Dans ce contexte, il apparaît souhaitable de proposer aux facteurs d'anche un outil permettant d'établir un lien entre des paramètres mesurables de l'anche et la qualité perçue par les musiciens, qualité étant le plus souvent exprimée comme une préférence (anche bonne ou mauvaise) (cf. Figure 1).

De façon plus générale, ce problème peut être résolu en formalisant les relations qui existent entre les aspects subjectifs (exprimés par les musiciens) et les aspects objectifs décrits par des grandeurs mesurables ou calculables.

Considérant le problème posé sous cet angle, nous proposons de le formaliser comme le montre la Figure 1. Les caractéristiques de l'anche peuvent être mesurées dans le domaine subjectif par des musiciens ou des experts. Les premiers expriment généralement des préférences alors que

les seconds donnent des valeurs à des indicateurs particuliers (par exemple, la facilité d'émission). Dans le domaine objectif (ou physique), les caractéristiques de l'anche peuvent être estimées à partir de paramètres mesurés sur un expert en situation de jeu. Elles peuvent être aussi déduites d'indicateurs estimés à partir de mesures réalisées directement sur l'anche.

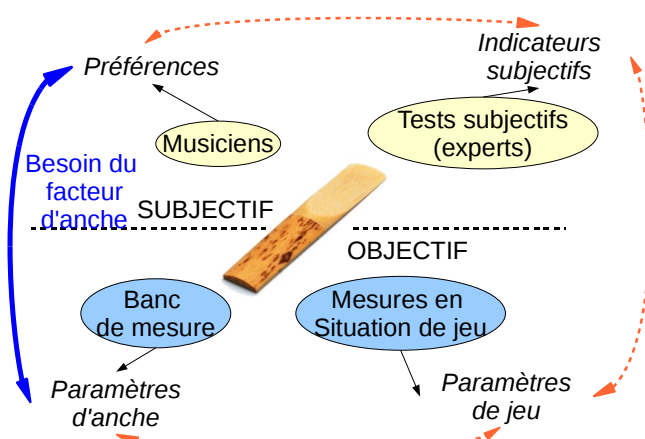


Figure 1 : Vue du problème général. Le besoin du facteur d'instrument est représenté à l'aide de la flèche continue de couleur bleue. La démarche proposée pour l'étude est représentée à l'aide des flèches de couleur orange en pointillés.

La démarche générale que nous proposons pour répondre aux besoins des facteurs d'anche consiste à établir les corrélations qui existent entre les quatre approches

(musicien, expert, situation de jeu, banc de mesure) pour finalement mieux appréhender les liens qui existent entre les préférences des musiciens et les caractéristiques intrinsèques de l'anche.

Le travail présenté dans ce document consiste à établir un premier lien entre deux indicateurs subjectifs (« facilité d'émission » et « brillance ») mesurés par un expert et deux indicateurs objectifs mesurés en situation de jeu sur un musicien, la pression de seuil et le Centre de Gravité Spectral (CGS) du signal acoustique mesuré à l'oreille du musicien.

Le paragraphe 2 du document présente le principe des tests subjectifs réalisés ainsi que les échantillons utilisés pour le test. La partie 3 présente le banc de mesure permettant d'estimer les valeurs des paramètres de jeu "pression de seuil", "CGS". Dans le paragraphe 4, les résultats principaux des tests subjectifs et des mesures objectives sont présentés, mis en regard et critiqués.

## 2 Tests subjectifs et traitement des données

Ces tests ont pour objectif de révéler et de décrire les dissemblances perçues entre différentes anches, en situation de jeu. Six anches du commerce pour saxophone ténor (2 anches roseau, 4 en matériau de synthèse), notablement différentes, ont été sélectionnées pour l'étude. Cette étude a impliqué un musicien expert, qui a réalisé deux épreuves d'évaluation dans des conditions contrôlées (même bec de saxophone (bec métal Yanagisawa 8), même saxophone (Selmer Référence 54), même salle pour l'évaluation. L'expert était libre dans le choix des motifs musicaux à jouer pour produire ses évaluations. Les épreuves n'étaient pas strictement en aveugle car l'expert réalisait lui-même le montage/démontage des anches sur le bec. Deux épreuves ont été réalisées : une épreuve de dissemblance perceptive, pour tenter de révéler sans a priori les dimensions perceptives caractéristiques des différences entre les anches, et une épreuve d'évaluation selon des dimensions sémantiques prédéfinies, pour tenter d'expliquer a posteriori les dimensions perceptives.

### 2.1. Epreuve de dissemblance perceptive

Cette première épreuve a consisté à demander à l'expert d'estimer globalement la dissemblance entre 2 anches sur une échelle de catégories à 6 niveaux (0 : identique ; 1 : très peu différent ; 2 : peu différent ; 3 : différent ; 4 : très différent ; 5 : extrêmement différent). L'ensemble des paires d'anche de la matrice de dissemblance a été présenté à l'expert (sauf bien sûr la comparaison d'une anche avec elle-même), ligne par ligne. Chaque couple d'anches  $a_i, a_j$  a donc été présenté deux fois, dans l'ordre  $(a_i, a_j)$  puis  $(a_j, a_i)$ . La dissemblance perceptive retenue entre les deux anches a été la moyenne des deux dissemblances déclarées. Cette épreuve a permis de produire une matrice de dissemblance perceptive  $\Delta$  (terme générique  $\delta_{ij}$ ), qui a été traitée par analyse multidimensionnelle des similarités (MDS métrique) et par classification ascendante hiérarchique (CAH).

Afin de déterminer les principales dimensions perceptives qui caractérisent les différences entre un ensemble de produits, la méthode MDS consiste à faire correspondre de manière monotone les dissemblances

perceptives  $\delta_{ij}$  à des distances métriques  $d_{ij}$  au sein d'un espace géométrique [3]. L'échelle de dissemblance choisie étant arbitraire, la méthode interval-MDS a été retenue pour ajuster les données (les distances obtenues dans l'espace de représentation doivent correspondre le plus fidèlement possible aux dissimilarités observées dans la matrice initiale, à une relation linéaire  $f$  près, cette relation étant la même pour tous les couples de produit). L'évolution du stress de Kruskal  $\sigma$  (équation 1)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i < j} (f(\delta_{ij}) - d_{ij})^2}{\sum_{i < j} (d_{ij})^2}} \quad (1)$$

en fonction du nombre de dimensions (critère du « coude ») a été retenue pour quantifier la qualité de l'ajustement et déterminer le nombre de dimensions à retenir.

Pour repérer les groupes d'anchement similaires, une classification ascendante hiérarchique a été réalisée sur la matrice de dissemblance perceptive (distance choisie : distance euclidienne ; règle d'agrégation : critère de Ward). Pour chaque groupe d'anche, une anche représentative du groupe a été choisie en fonction de sa proximité avec le centre de gravité du groupe dans l'espace MDS.

### 2.2. Epreuve d'évaluation

Cette seconde épreuve a consisté à demander à l'expert d'estimer, par comparaison par paires, les différences entre les anches selon deux dimensions prédéfinies, la **facilité d'émission** (aptitude de l'instrument à jouer facilement un son) et la **brillance** (dimension du timbre liée au rapport entre les contenus haute fréquence et basse fréquence du son). Le choix de ces deux dimensions se justifie par le fait que la facilité d'émission est un critère très utilisé et intuitif pour l'évaluation de la qualité d'instruments de musique, la brillance étant elle la première dimension perceptive qui ressort de l'étude du timbre [4].

Nous avons utilisé une épreuve de comparaisons par paires car elle permet une évaluation plus instinctive et généralement plus discriminante qu'une cotation sur une échelle absolue. L'expert a évalué une seule fois la différence entre chaque paire d'anche (soit au total  $(6 \times 5)/2 = 15$  comparaisons). Une échelle de catégorie à 7 niveaux a été utilisée pour coder les comparaisons ( $<<$  vraiment moins facile ;  $<$  moins facile ;  $\leq$  un peu moins facile ;  $=$  identique ;  $\geq$  un peu plus facile ;  $>$  plus facile ;  $>>$  vraiment plus facile). En suivant les travaux de Lootsma [5], nous avons fait correspondre à cette échelle de catégorie une échelle de rapport de la façon suivante :  $c_{ij} = 8$  vraiment moins facile ;  $c_{ij} = 4$  moins facile ;  $c_{ij} = 2$  un peu moins facile ;  $c_{ij} = 1$  identique ;  $c_{ij} = 1/2$  un peu plus facile ;  $c_{ij} = 1/4$  plus facile ;  $c_{ij} = 1/8$  vraiment plus facile). Une matrice de comparaison par paires  $C$ , de terme générique  $c_{ij}$  a été ainsi définie. La problématique de l'extraction de scores à partir de comparaison par paires est la suivante : à partir d'une matrice carrée  $C(n \times n)$  dont l'élément générique  $c_{ij}$  indique une estimation du rapport de la dimension étudiée lorsque l'on compare l'élément  $i$  avec l'élément  $j$ , il s'agit d'estimer les scores (ou poids)  $p_i$  et  $p_j$  de façon que  $c_{ij} \approx p_i/p_j$ . En général, la matrice de comparaison n'est pas consistante (exemple : la comparaison suivante entre trois produits A B C est inconsistante :  $A >> B$  ;  $B >> C$  ;  $A > C$ ), ce qui fait qu'il est impossible de trouver une solution exacte, c'est à dire des poids qui satisfont tous les  $c_{ij}$  donnés dans

la matrice de comparaison : seule une solution approchée peut être trouvée,  $c_{ij} \approx p_i/p_j$ . Le calcul de scores d'évaluation à partir de comparaisons par paires est un sujet très classique pour lequel il existe une littérature très abondante [6]. Nous décrivons ici brièvement la méthode utilisée.

Saaty et Hu [6] ont démontré que si l'on considère une matrice de comparaison par paires  $C(n \times n)$ , le vecteur propre correspondant à la plus grande valeur propre  $\lambda_{\max}$  de  $C$  est une bonne estimation des poids recherchés. Afin d'évaluer la qualité des scores obtenus, Saaty a défini un indice de cohérence (IC) des comparaisons de la façon suivante :  $IC = (\lambda_{\max} - n) / (n-1)$ ,  $n$  étant le nombre d'éléments comparés.

Cet indice de cohérence IC est comparé à un indice de cohérence aléatoire IA, valeur que l'on obtiendrait de l'indice de cohérence si on remplissait la matrice de comparaison par paire aléatoirement. Le ratio de cohérence RC est égal à :  $RC = IC / IA$  ; si  $RC > 10\%$  : on admet que le sujet est trop incohérent dans ses comparaisons et que les scores calculés sont inexploitable.

Nous avons utilisé cette méthode pour déterminer les scores des six anches selon les deux dimensions perceptives facilité d'émission et brillance (ainsi que les ratios de cohérence des comparaisons).

### 3 Banc de mesure

Nous décrivons dans cette section le banc de mesure utilisé pour estimer les valeurs des paramètres de jeu mesurés en situation de jeu sur un musicien. Ce banc a été mis au point dans le cadre du travail d'un stage de DUT [7].

#### 3.1 Principe

Le banc permet la mesure de la pression dite « statique » dans la bouche du musicien et de la pression acoustique près d'une oreille du musicien et du pavillon du saxophone (cf. Figure 2). La pression statique est mesurée à l'aide d'un capteur de pression différentiel Endevco 8507C-2 relié à la cavité buccale à l'aide d'un cathéter. La pression acoustique est mesurée à l'aide de deux microphones ¼ pouce electret GRAS type 40BP et d'un conditionneur B& K Nexus 2690. L'un des deux microphones est positionné sur un serre-tête, l'autre est placé dans l'axe du pavillon de l'instrument. Les signaux issus des capteurs sont enregistrés sur un ordinateur à l'aide d'une carte d'acquisition National Instruments BNC-2110. Un exemple de signaux acquis est présenté à la Figure 3.

#### 3.2 Traitement du signal

A l'aide des signaux issus des capteurs décrits ci-dessus, nous cherchons à estimer d'une part la pression de seuil définie comme la pression statique pour laquelle l'instrument comme à auto-osciller, d'autre part le Centre de Gravité Spectral (CGS) défini par exemple dans [8]. Pour cela, deux étapes sont utilisées. D'une part, la détection du début du signal utile est réalisée, d'autre part, les valeurs des paramètres sont estimées.



Figure 2: Vue des capteurs. (A) cathéter connecté au capteur de pression statique., (B) microphone près du pavillon, (C) microphone près de l'oreille.

##### a) Détection du signal utile

La détection vise à déterminer à quel instant le signal de pression acoustique présente une composante périodique à

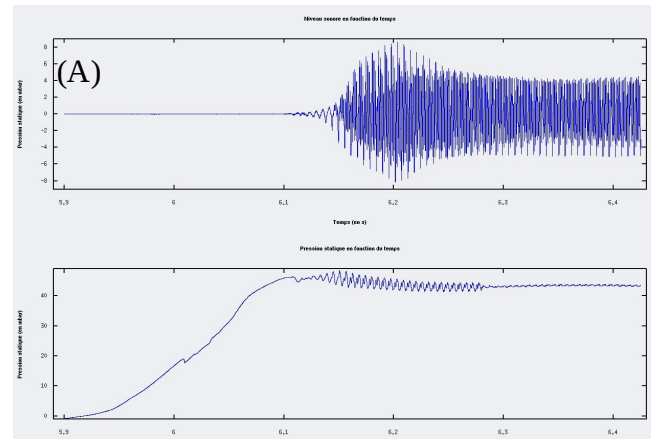


Figure 3 : Allure temporelle des signaux acquis lors du jeu d'un musicien. (A) : pression acoustique. (B) pression dans la cavité buccale.

la fréquence fondamentale de la note jouée, fréquence a priori connue approximativement. Pour cela, la fonction de détection  $D(t)$  est définie par

$$D(t) = \sqrt{A(t)^2 + B(t)^2} \quad (2)$$

où

$$A(t) = \int_0^t s(\tau) \cos(2\pi f_0 \tau) d\tau \quad , \quad (3)$$

$$B(t) = \int_0^t s(\tau) \sin(2\pi f_0 \tau) d\tau \quad , \quad (4)$$

et  $s(\tau)$  est le signal de pression acoustique et  $f_0$  est la fréquence fondamentale estimée de la note jouée. Cet indicateur est calculé puis comparé à un seuil déterminé empiriquement pour estimer le temps de début  $t_d$  du signal. Un exemple de détection par calcul de  $D(t)$  est présenté à la Figure 4.

##### b) Estimation des paramètres

La pression de seuil est estimée en cherchant la valeur de la pression statique mesurée dans la cavité buccale à l'instant  $t_d$ . Le centre de Gravité Spectral est calculé à l'aide de la transformée de Fourier Discrète du signal de pression observé sur la partie stationnaire du signal en considérant 50 harmoniques.

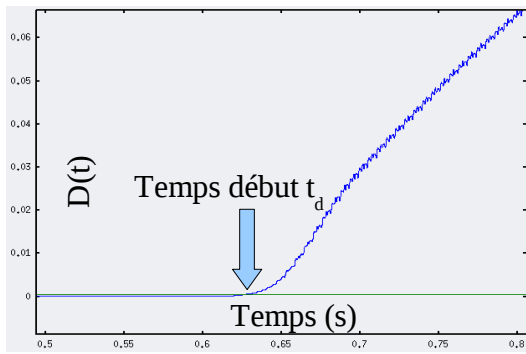


Figure 4 : Fonction de détection du signal de pression acoustique

La partie stationnaire du signal est déterminée en calculant l'évolution temporelle de l'énergie normalisée du signal

$$E(t) = \frac{\int_0^t s^2(\tau) d\tau}{\max \left[ \int_0^t s^2(\tau) d\tau \right]} \quad (5)$$

Le signal est considéré stationnaire pour  $E(t) \in [0,05 - 0,95]$ .

## 4 Résultats

Les tests sont réalisés pour six anches de natures différentes de façon à augmenter la dynamique de la mesure. Le lot d'échantillons comprend deux anches en roseau nommées  $R_1$  et  $R_2$  et quatre anches en matériau de synthèse (plastique, carbone ou Kevlar) nommées  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  et  $S_4$ . Les mesures objectives ont été réalisées sur 3 anches seulement ( $R_2$ ,  $S_1$ ,  $S_4$ ), les anches représentatives des 3 groupes mis en évidence par l'étude subjective.

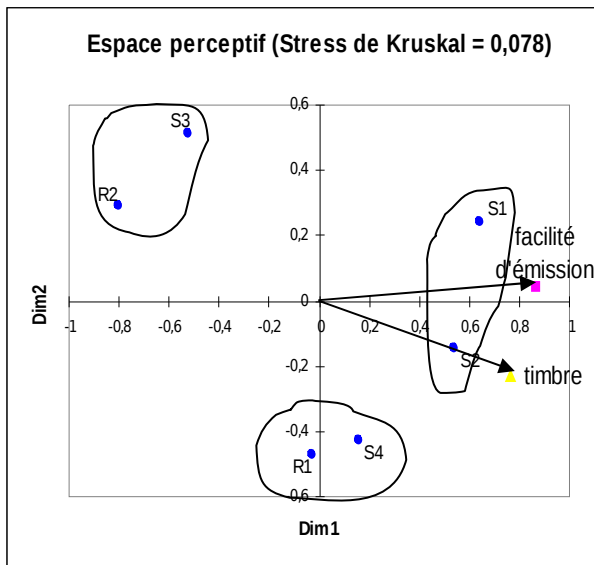


Figure 5 : position des anches dans l'espace perceptif, obtenue par analyse MDS, constitution des groupes d'anches et interprétation des dimensions perceptives

### 4.1. Espace perceptif et classification des anches

La méthode interval-MDS appliquée à la matrice de dissemblance fournie par l'expert a conduit à un espace perceptif à deux dimensions (stress de Kruskal = 0.078) : deux dimensions perceptives sont donc suffisantes pour représenter les dissimilarités entre les anches. Les positions des anches dans ce plan sont données Figure 5.

La classification ascendante hiérarchique appliquée à cette même matrice fournit une hiérarchie représentée par le dendrogramme de la Figure 6.

Trois groupes d'anches se distinguent : anches ( $R_2 - S_3$ ), ( $R_1 - S_4$ ) et ( $S_1, S_2$ ). Les groupes constitués se retrouvent sur le plan perceptif MDS (Figure 5), ce qui conforte la qualité de la représentation en 2 dimensions. Le groupe d'anches ( $R_2 - S_3$ ) est très différent des 2 autres groupes. 3 anches ( $R_2$ ,  $S_1$ ,  $S_4$ ) ont été sélectionnées arbitrairement pour représenter chaque groupe et ont été l'objet de mesures objectives.

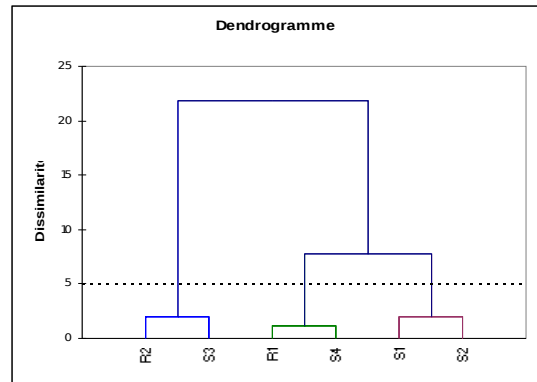


Figure 6: Dendrogramme issu de la CAH des anches

### 4.2. Epreuve d'évaluation et interprétation des dimensions perceptives

A partir des matrices de comparaison par paires entre les anches, les scores de chaque anche selon les dimensions « facilité d'émission » et « brillance » ont été calculés par la méthode du vecteur propre. Les graphes correspondants sont donnés Figure 7. Les ratios de cohérence sont respectivement de 6% et 8%, ce qui indique une cohérence satisfaisante de l'expert.

Le coefficient de corrélation linéaire entre ces deux dimensions « facilité d'émission » et « brillance » est de 0.83, ce qui indique une grande dépendance entre ces deux dimensions. Afin d'interpréter l'espace perceptif des anches, les coefficients de corrélation linéaire entre chaque dimension perceptive et chaque descripteur ont été calculés (table 1).

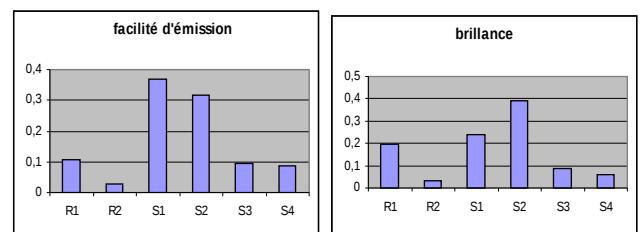


Figure 7: scores de « facilité d'émission » et de « brillance » de chaque anche, obtenus à partir des comparaisons par paires.

Pour interpréter graphiquement ces corrélations, chaque descripteur est représenté dans l'espace perceptif par un vecteur dont les coordonnées sur chaque dimension perceptive correspondent aux valeurs des coefficients de corrélation (Figure 5).

|      | facilité d'émission | brillance |
|------|---------------------|-----------|
| Dim1 | 0,87                | 0,77      |
| Dim2 | 0,043               | -0,23     |

Table 1 : coefficients de corrélation entre les dimensions perceptives et « facilité d'émission » et « brillance »

On constate que les descripteurs « facilité d'émission » et « timbre » expliquent la dimension 1 de l'espace perceptif. Il manque des informations pour expliquer la dimension 2. Correspond-elle à une dimension significative sous-jacente ou simplement à l'erreur d'évaluation de l'expert ?

### 4.3 Mesure des paramètres de jeu

Pour chacune des trois anches représentative d'un groupe, les paramètres de jeu, pression de seuil et CGS sont mesurés pour quatre notes du saxophone ténor (sol grave, do médium, sol médium et do aigu). Pour chaque note, la mesure est réalisée au moins cinq fois de façon à estimer la répétabilité de la mesure. Les figures suivantes présentent les valeurs moyennes des différentes grandeurs sur ces 5 répétitions.

Les résultats de mesure montrent des évolutions de pression statique très différentes pour une attaque détachée et une attaque soufflée. Chaque mesure est réalisée pour une attaque détachée et pour une nuance considérée comme forte. Nous n'avons pas retenu les attaques « soufflées » qui *a priori* augmentent l'incertitude sur l'estimation de la pression de seuil.

Les niveaux sonores estimés pour chaque anche et chaque note sont présentés à la Figure 8. Au cours d'un essai mettant en jeu les anches, une variation de  $\pm 1$  dB existe, montrant que les expériences sont réalisées dans des conditions stables. On ne constate pas de tendance claire pour l'évolution du niveau sonore moyen en fonction de l'anche utilisée.

Les pressions de seuil estimées pour les douze

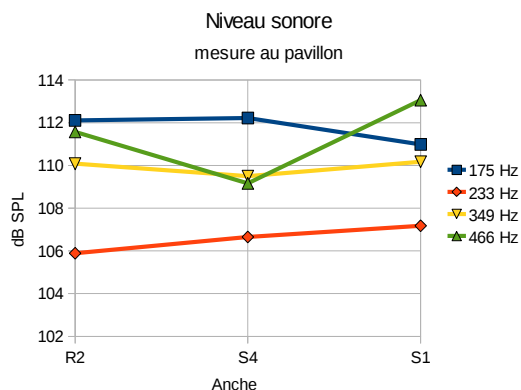


Figure 8: Niveaux sonores au pavillon (dB SPL) pour les trois anches testées.

configurations sont présentées à la Figure 9. On constate que pour une note donnée, la tendance générale est que la pression de seuil moyenne est la plus faible pour l'anche S<sub>1</sub>, vient ensuite l'anche S<sub>4</sub>, et enfin l'anche R<sub>2</sub>. Les valeurs de pression de seuil sont comprises entre 32 et 52 mbar.

Ce classement est tout à fait en accord avec l'évaluation de la facilité d'émission déclarée lors de l'épreuve subjective : la facilité d'émission de l'anche S<sub>1</sub> est supérieure à celle de l'anche S<sub>4</sub>, qui est supérieure à celle de l'anche R<sub>2</sub>. Ce résultat indique que la pression de seuil, déterminée avec la procédure indiquée, pourrait être une mesure candidate fiable pour représenter la facilité d'émission d'une anche. Ce résultat devra bien entendu être confirmé en utilisant d'autres anches et d'autres experts afin de confirmer avec des tests statistiques cette tendance.

L'incertitude relative moyenne estimée sur la pression de seuil pour chaque anche est comprise entre 4 et 6 % ce qui

montre une bonne répétabilité de l'estimation de la pression de seuil.

Le CGS estimé à partir de la pression mesurée au pavillon est présenté à la Figure 10 (celui estimé à partir de la pression mesurée à l'oreille du musicien présente la même allure et a une valeur moyenne d'environ 4). De même on constate que la tendance générale est que le CGS moyen est le plus élevé pour l'anche S<sub>1</sub>, vient ensuite l'anche S<sub>4</sub>, et enfin l'anche R<sub>2</sub>.

Ce classement est également en accord avec l'évaluation de la brillance déclarée lors de l'épreuve subjective : la brillance de l'anche S<sub>1</sub> est supérieure à celle de l'anche S<sub>4</sub>, qui est supérieure à celle de l'anche R<sub>2</sub>.

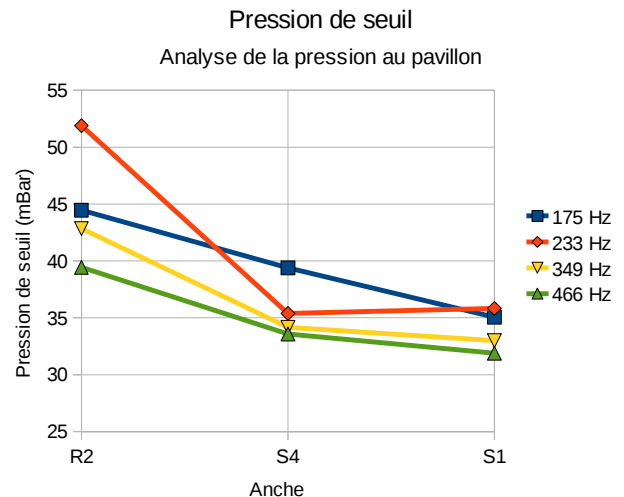


Figure 9 : Pression de seuil mesurée pour les trois anches et pour quatre notes (les fréquences fondamentales sont indiquées).

Ce résultat est en accord avec les travaux sur le timbre [4], qui indiquent que la brillance d'un son est corrélée positivement au CGS. Le point important et nouveau de notre travail est qu'il s'agit ici non pas de la brillance d'un son, considéré comme un « stimuli sonore », mais de la brillance globale de l'ensemble instrument+anche. Les courbes de la Figure 10 indiquent également qu'il n'est pas vain d'envisager de définir le CGS global d'une anche étant donné la quasi absence d'interaction entre l'anche et la note jouée.

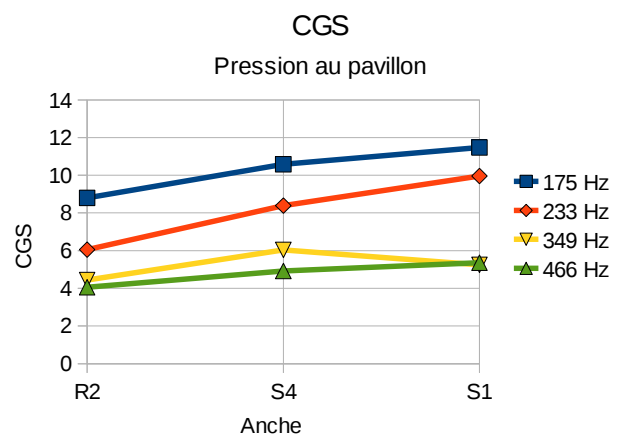


Figure 10 : Centre de Gravité Spectral estimé pour les trois anches et pour quatre notes (les fréquences fondamentales sont indiquées) à partir de la pression mesurée au pavillon.

Les valeurs de CGS diffèrent en fonction de la note jouée montrant une diminution de la brillance du son pour les

notes les plus aigües du registre. Les valeurs du CGS de la pression mesurée à l'oreille du musicien sont plus faibles que celles du CGS de la pression mesurée au pavillon de l'instrument (l'atténuation entre la sortie du pavillon et l'oreille concerne plus les hautes fréquences que les basses). L'incertitude relative moyenne estimée sur le CGS pour chaque anche est comprise entre 4 et 6 % et montre une erreur d'estimation faible.

#### 4.4 Discussion

Les résultats de l'étude subjective et de l'étude objective confirment des résultats qui semblaient intuitifs à première vue (facilité d'émission corrélée à pression de seuil – brillance corrélée à CGS). Ils indiquent également qu'une mesure objective globale (pression de seuil ou CGS) de l'anche sur plusieurs notes pourrait être représentative, étant donné la très faible interaction entre le type d'anche et la note jouée sur la mesure, ainsi que la faible erreur de mesure. Ceci devra être confirmé en étudiant différentes dynamiques de jeu.

Enfin, cette première étape est un préalable à une étude de plus grande ampleur, impliquant plus d'anches et plus de musiciens experts. Considérer plus d'anches permettra de définir le seuil de perception des différences entre lesanches, et d'utiliser une démarche statistique pour estimer les seuils de confiance des décisions. Ceci permettra également d'étudier plus finement la seconde dimension perceptive qui ressort de l'étude MDS, et qui n'est pour l'instant pas expliquée par des grandeurs physiques. Utiliser plusieurs experts musiciens permettra de s'assurer de la fiabilité et de la stabilité des mesures subjectives.

## 5 Conclusion

Cette étude propose une recherche d'indicateurs de qualité desanches de saxophone ténor. Des indicateurs subjectifs et objectifs sont étudiés.

Les indicateurs subjectifs sont évalués en réalisant une mesure subjective de la dissemblance entre sixanches considérées comme très différentes. Une analyse MDS montre l'existence d'un espace perceptif à deux dimensions. L'une des deux dimensions est expliquée par l'indicateur subjectif « facilité d'émission », indicateur fortement corrélé (0,83) à l'indicateur subjectif « brillance ». La deuxième dimension de l'espace subjectif n'est pas expliquée pour l'instant. Elle peut représenter l'erreur de mesure du musicien ou une dimension perceptive qui doit être déterminée.

Les indicateurs objectifs sont évalués à l'aide de grandeurs physiques mesurées en situation de jeu réelle (sur un musicien). La pression de seuil est estimée à l'aide de la pression statique mesurée dans la cavité buccale. Le Centre de Gravité Spectral est estimé à l'aide des pressions acoustiques mesurées au pavillon de l'instrument d'une part, à l'oreille du musicien d'autre part.

L'analyse des corrélations entre les indicateurs subjectifs et objectifs confirme l'intuition, à savoir que la facilité d'émission est corrélée à la pression de seuil, et que la brillance est corrélée au CGS, le tout représentant une seule dimension de l'espace perceptif.

Les perspectives à ce travail sont d'une part la détermination de la nature de la deuxième dimension de l'espace subjectif, d'autre part la recherche d'indicateurs objectifs pouvant caractériser cette deuxième dimension et ainsi permettre une meilleure classification desanches. Il

faudra confirmer les tendances trouvées en adoptant une démarche statistique utilisant plus d'anches et d'autres experts.

## Remerciements

Les auteurs remercient les étudiants pour leurs contributions à ce travail dans le cadre de leurs projets et stage [7, 9, 10].

## Références

- [1] RESONANS - Logiciel d'aide à la conception d'instruments à vent développé au L.A.U.M. (Le Mans) en collaboration avec l'I.R.C.A.M. (Paris) et distribué par le C.T.T.M. (Le Mans).
- [2] Dalmont J.P., Acoustic impedance measurement, part I: A review, *Journal of Sound and Vibration*, 243 (3), 427-439 (2001).
- [3] Shepard, R. N., Romney, K., and Nerlove, S. B. (Eds.), *Multidimensional scaling: Theory and applications in the behavioral sciences (Volume I: Theory)*. New York: Seminar Press. (1972).
- [4] Krimphoff J., Mc Adams S., Winsberg S. Caractérisation du timbre des sons complexes. Analyses acoustiques et quantification psychophysique. *Journal de physique IV, colloque C5, supplément au journal de Physique III, volume 4*, (1994).
- [5] Lootsma F.A., Performance evaluation of nonlinear optimization methods via multi-criteria decision analysis and via linear model analysis, *Nonlinear Optimization*, M.J.D. Powell ed., Press A. Vol. 1, London, 419-453, (1994).
- [6] Saaty T.L. and Hu G., Ranking by the eigenvector versus other methods in the analytical hierarchy process. *Applied Mathematical Letter* 11 (4), 121-125, (1998).
- [7] Bouette R., "Développement d'un banc de mesure des paramètres physiques caractérisant le jeu d'un saxophoniste.", *Stage de DUT, Université du Maine, Le Mans*, (2009)
- [8] Poirson E., Petiot J.F., Gilbert, J., Study of the brightness of trumpet tones, *J. Acous. Soc. Am.* 118, 2656 (2005).
- [9] Abbadie J., Bricault C., Couvidou L., "Etude de l'effet desanches sur le timbre d'un saxophone", *Projet de Deust VAS 2, Université du Maine, Le Mans*, (2008).
- [10] Blanchard, Jarry, Faure, "Etude de la précision d'un banc de mesure des paramètres de jeu d'un saxophoniste", *Projet de Deust VAS 2, Université du Maine, Le Mans*, (2009).