

Perception du Contrôle Actif sur Instruments à Vent

M. Jossic, T. Meurisse, N. Misdariis et A. Mamou-Mani
STMS Ircam-CNRS-UPMC, 1 place Igor Stravinsky, 75004 Paris, France
marguerite.jossic@ens.fr

Cette étude se place dans le cadre général du contrôle actif appliqué aux instruments de musique. Elle permet la modification des paramètres acoustiques d'une structure simple de type clarinette (résonateur cylindrique + excitateur de type anche simple). L'objectif de l'étude est d'examiner les liens entre les modifications induites par le contrôle actif et les modifications perceptives qui en découlent pour un instrumentiste. Pour cela nous développons une méthodologie expérimentale basée, d'une part, sur le développement de filtres numériques permettant de modifier l'amplitude et la fréquence des différentes résonances du tube, et d'autre part sur un protocole original de test perceptif, en situation de jeu, permettant de quantifier des jugements de dissemblance et de produire un ensemble de champs lexicaux issus d'une verbalisation libre. Les premiers résultats permettent de dégager des attributs communs aux musiciens, et notamment trois critères sur lesquels se basent les différences perçues pour différentes situations de contrôle : facilité de jeu, ouverture et richesse harmonique. L'étude montre également une relative corrélation entre les paramètres physiques du contrôle et ces dimensions perceptives principales.

1 Introduction

Le contrôle actif, dont le tout premier brevet est attribué à Paul Lueg (1934) pour ses travaux sur la réduction du bruit dans les tuyaux, est aujourd'hui une technique largement utilisée dans l'industrie afin de réduire les nuisances sonores. Le principe de base est simple : l'élimination d'un bruit indésirable dans une structure se fait par l'introduction de sources de bruit secondaires. Celles-ci sont calculées de sorte que leur *addition* au bruit initial réduise l'amplitude de ce dernier.

Dans un cadre non plus industriel mais musical, l'utilisation du contrôle actif ne se fait plus dans une optique de réduction de vibrations - ce qui est compréhensible - mais plutôt de *modifications* de ces vibrations, afin d'agir sur le timbre de l'instrument. Dans notre cas, un système de contrôle actif a été greffé sur une clarinette simplifiée. Des travaux précédents [1] ont montré qu'un contrôle actif analogique induisait des modifications acoustiques nettes dans les caractéristiques modales du système instrumental. La question qui se pose alors est de savoir dans quelle mesure ces modifications acoustiques de l'instrument entraînent des modifications *perceptives* pour la personne qui en joue. Les objectifs généraux de cette étude concernent la quantification des différences perçues par les musiciens lorsqu'ils jouent d'un instrument contrôlé, ainsi que la qualification de ces différences par un vocabulaire musical.

2 Système de contrôle actif numérique

Le choix a été fait d'effectuer un contrôle actif numérique de l'instrument. En effet, le contrôle analogique, déjà réalisé dans une étude précédente [1], se prête peu aux procédures automatisées qui sont en général nécessaires à une démarche expérimentale contrôlée. De plus, le contrôle numérique permet d'affiner le type de contrôle que l'on souhaite effectuer sur l'instrument, via le logiciel Max/MSP, dont on détaille l'utilisation dans la suite de l'article.

2.1 Fonction de transfert en boucle fermée

Le système de contrôle numérique, réalisé sous Max/MSP, contrôle toutes les sorties et entrées d'une carte son analogique et convertisseur A/N MOTU-828. Le système global contenant le musicien, l'instrument, ainsi que le système de contrôle est représenté sur la Figure 1.

La première étape de l'étude consiste à modifier les paramètres de la fonction de transfert en boucle fermée

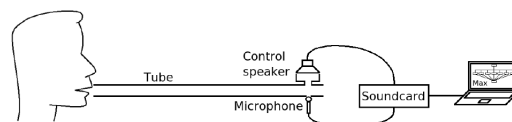


FIGURE 1 – Schéma simplifié du système de contrôle numérique monté sur le système tube+anche.

du système. Celle-ci est calculée à l'aide du montage représenté sur la Figure 2 : Un *sweep* fréquentiel est généré via un programme MATLAB sur ordinateur (voir ①). Il est, d'une part, directement relié à l'ordinateur de mesure ② en tant que signal d'entrée pour la mesure de la fonction de transfert (en vert), et de l'autre envoyé dans le tube via un haut-parleur (Tymphony Peerless PLS-P830983) ③. Le signal modulé par le tube est récupéré par le microphone (Endevco modèle 8507C-5), puis modifié via le système de contrôle ④, avant d'être réinjecté dans le tube par le même haut-parleur ③. Le microphone capte donc la somme du signal initial U et de ce même signal U modifié. La somme des deux signaux est alors envoyée à l'ordinateur de mesure, en tant que sortie du système (⑤, en bleu).

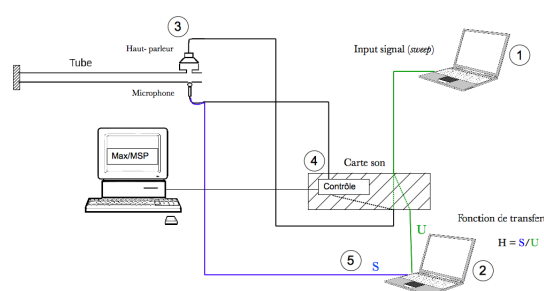


FIGURE 2 – Dispositif expérimental pour la mesure de la fonction de transfert en boucle fermée du système.

2.2 Phase en boucle ouverte

La chaîne des composants du système de contrôle tel qu'il a été décrit précédemment possède un retard non nul. Ce retard entre l'onde initiale et l'onde initiale modifiée est appelée phase en boucle ouverte, ou phase en BO. Il est dû à plusieurs retards temporels intrinsèques à la chaîne HP+micro+système de contrôle. Dans le cas où aucun contrôle n'est effectué ($G = 0$), la chaîne de retards est composée d'un retard Δ_{t1} dû à la distance entre le HP et le

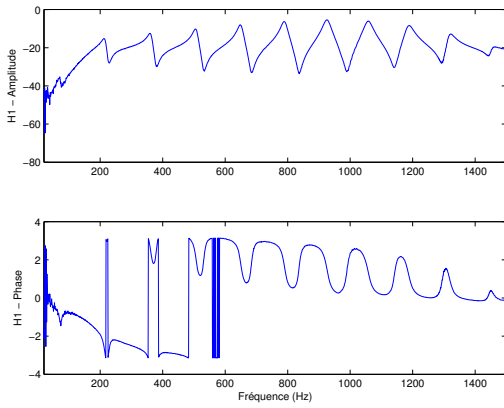


FIGURE 3 – Fonction de transfert en boucle fermée du système avec contrôleur numérique (configuration sans contrôle actif).

micro, et d'un retard numérique ou de traitement Δ_{t2} (de 25 ms) dû au système de contrôle Max/Msp. Cette chaîne de retards successifs impose que chaque résonance n de fréquence f_n subit un déphasage ϕ_n entre le moment où le *sweep* émet la fréquence f_n via le haut-parleur (③), et le moment où elle est réinjectée par le même haut-parleur après être passée dans le système de contrôle (④). Cette phase ϕ_n est telle que : $\phi_n = (\Delta_{t1} + \Delta_{t2})2\pi f_n$.

Le retard Δ_{t2} entraîne une variation rapide de la phase en boucle ouverte de la fonction transfert du système (voir Figure 4). Ceci aura son importance dans l'établissement des configurations (voir 4.1).

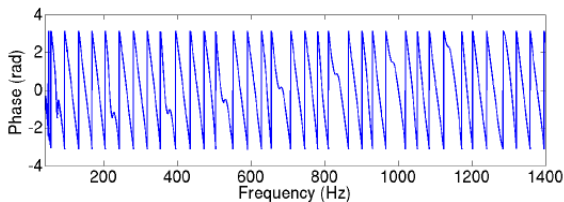


FIGURE 4 – Phase en boucle ouverte de la fonction de transfert du système.

2.3 Description du contrôle numérique

A l'aide du logiciel Max/MSP, un ensemble de 10 filtres passe-bandes est monté en parallèle (on ne réalise pas de contrôle au delà du dixième mode, où l'amplitude de la fonction de transfert est faible). La fréquence, le gain ainsi que le facteur de qualité du filtre peuvent être ajustés (voir Figure 5). La valeur du facteur de qualité a été fixé à $Q = 50$. Afin de compenser les effets de la phase en boucle ouverte du système, un objet "delay" est ajouté à chacun des filtres : il permet d'imposer le retard temporel désiré afin de modifier la phase de la résonance comme souhaité. En effet, si l'on note ϕ_n la phase en boucle ouverte de la résonance n , et Δ_{delay} le retard supplémentaire introduit par l'objet "delay" à cette même résonance n , celle-ci possède non plus une phase ϕ_n mais une phase ϕ_c telle que $\Delta_{delay} = (\phi_n - \phi_c) \frac{T_n}{2\pi}$ où T_n est la période de la résonance n ($T_n = 1/f_n$).

Inversement, on peut choisir que la résonance n de phase ϕ_n en boucle ouverte ait une certaine phase cible ϕ_c - par exemple, pour que l'onde modifiée et l'onde initiale s'ajoutent en phase, il faut choisir $\phi_c = 0$. Il suffit alors de calculer le Δ_{delay} nécessaire à appliquer dans Max/MSP à l'aide de l'équation précédente.

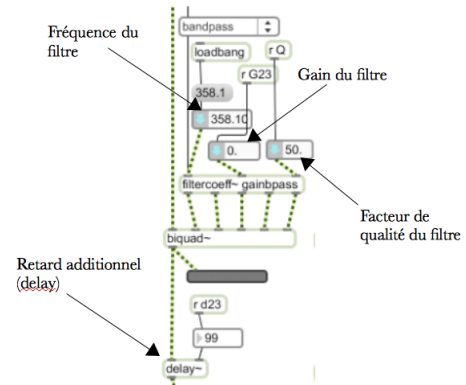


FIGURE 5 – Filtre passe-bande dans Max/MSP utilisé pour le système de contrôle numérique.

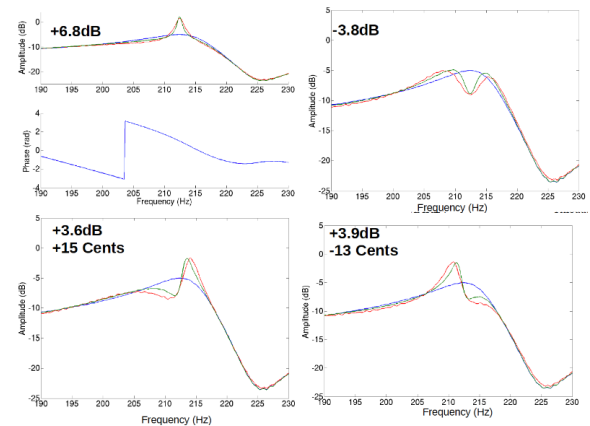


FIGURE 6 – Différents contrôles appliqués à la deuxième résonance de l'instrument, FT mesurées sans contrôle (bleu), avec contrôle (rouge) et simulation de contrôle (vert). Les contrôles sont tous réalisés avec $G = 1$ et $Q = 50$, et quatre phases ciblées différentes. Haut-gauche : $\phi_c = 0$. Haut-droite : $\phi_c = \pi$. Bas-gauche : $\phi_c = \pi/2$. Bas-droite : $\phi_c = 3\pi/2$.

On dispose donc d'un système de contrôle numérique qui permet d'augmenter l'amplitude et la fréquence de chaque résonance du système, indépendamment les uns des autres. On donne sur la Figure 6 un exemple des modifications de la fonction de transfert en boucle fermée qu'il est possible de réaliser sur la deuxième résonance. Les phases ϕ_c choisies ont pour valeurs 0 , $\frac{\pi}{2}$, π , et $\frac{3\pi}{2}$. On observe par exemple qu'une phase $\phi_c = 0$ augmente l'amplitude de la résonance, et qu'une phase de $\phi_c = \pi$ la diminue. De même, les déphasages $\phi_c = \frac{\pi}{2}$ et $\phi_c = \frac{3\pi}{2}$ ont respectivement pour conséquence d'augmenter ou de diminuer la fréquence de la résonance. Ces résultats sont en accord avec ceux issus du contrôle analogique réalisé dans l'étude précédente [1]. Sur la Figure 6, les courbes vertes représentent les résultats issus de simulations MATLAB.

Ces simulations sont réalisées en identifiant les fréquences de résonance de la fonction de transfert mesurée sans contrôle et contient, comme le système réel, un ensemble de dix filtres passe-bande permettant de contrôler les mêmes paramètres (fréquence f_i , facteur de qualité Q_i et retard τ_i).

On observe que les effets du gain sont très localisés : cela est dû à la fois à la variation rapide de la phase en BO, et à la valeur élevée choisie pour le facteur de qualité des filtres passe-bande afin de limiter cet effet de la phase du système. Cela a par exemple pour conséquence l'apparition de deux pics voisins de la fréquence de résonance lorsque la phase cible est de π . De même, les décalages en fréquence s'accompagnent d'augmentations d'amplitude. Cette localisation des effets de gain sur les pics de résonance devra être prise en compte dans la suite.

3 Approche perceptive de l'étude

3.1 Approche psychophysique et écologique de l'étude

L'élaboration du protocole s'est faite par une approche à la fois psychophysique et écologique. Concernant l'aspect psychophysique, plusieurs travaux, dont ceux de Mc Adams [2] et de Grey [3], ont tenté de démontrer l'aspect multidimensionnel de la perception sonore. Par ses travaux sur le timbre [3], Grey suppose l'existence d'un espace perceptif multidimensionnel, dont les dimensions perceptives (brillance, flux spectral, et densité de transitoires) sont révélées à l'aide d'expériences de dissemblance entre des paires de stimuli. Ces données de dissemblance sont ensuite "cartographiées" dans un espace à plusieurs dimensions via une analyse multidimensionnelle.

A l'inverse, les travaux de Gibson en écologie de la perception [4], à la fin des années 70, veulent profondément remettre en question les fondements de la psychophysique et de la théorie de l'information. Le stimulus n'est plus un ensemble de variables physiques que le cerveau traite en vue de l'interpréter, mais il *est* lui-même l'information : celle-ci est le produit de l'interaction forte qui existe entre l'individu et l'environnement tel qu'il le perçoit. Ces nouveaux points de vue utilisent d'autres méthodes d'analyse que celles utilisées en psychophysique : les verbalisations et le langage permettent ainsi d'autres accès aux modes de représentations.

3.2 Choix des tests

Dans la perspective de répondre à la problématique posée par l'étude, à savoir la perception de musiciens sur le contrôle actif d'instruments, le choix a été fait d'effectuer des tests où le musicien est placé en situation *active*, c'est-à-dire en situation de jeu. En effet, mettre en place des tests passifs requiert en général de disposer d'une banque de données sonores adéquate. Ce corpus sonore doit être proprement défini *physiquement*, c'est-à-dire qu'il nécessite d'être contrôlable par l'utilisateur afin que celui-ci puisse faire varier les paramètres de façon découplée et maîtrisée. Il aurait donc fallu avoir à notre disposition une bouche artificielle spécifique à l'anche de clarinette basse, ce qui n'était pas le cas.

Il se trouve que la littérature concernant les protocoles de tests perceptifs en situation active [5][6] se révèle peu pertinente vis à vis de notre étude. Dans le souci de quantifier les différences perçues par un musicien, il a donc été décidé d'établir un protocole original à partir d'expériences de dissemblances, qui semblent appropriées bien que souvent réalisées dans le cadre de tests passifs. En plus de cette approche psychophysique, nous avons choisi d'ajouter au protocole une phase de verbalisation libre au cours de laquelle le musicien est amené à faire part oralement des différences qu'il perçoit, en les qualifiant à partir de termes qui lui sont propres. Ce genre de protocole mixte, entre approche psychophysique (expériences de dissemblance) et écologique (verbalisations) avait déjà été mis en place dans plusieurs études précédentes [7].

4 Protocole expérimental

4.1 Espace des paramètres et configurations

L'ensemble des dix filtres qui contrôle les dix résonances du système offre un grand nombre de paramètres et donc de configurations possibles (10 paramètres de gain et 10 paramètres de *delay*). L'espace des configurations utilisées dans les expériences de dissemblance a été pré-déterminé avec l'aide d'un clarinettiste professionnel qui a évalué leur pertinence. Plusieurs tentatives ont mis en évidence la nécessité d'imposer un ordre de grandeur suffisamment important pour les gains imposés, au risque qu'aucune différence ne soit perçue, tout en évitant les phénomènes de *larsen* dus à la variation de la phase en BO. Le choix final a consisté à créer un espace de paramètres à 2 dimensions, l'une concernant le gain appliqué à toutes les résonances (sauf la première, dont la fréquence est trop basse par rapport aux capacités du haut-parleur, et l'amplitude très basse à la position du système de contrôle), et l'autre le déphasage imposé. L'espace des paramètres en question est représenté sur la Figure 7.

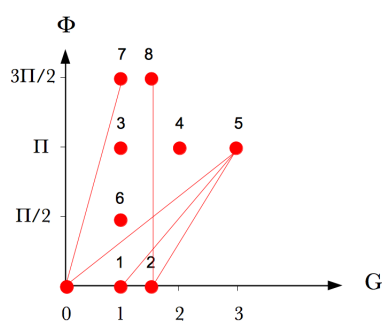


FIGURE 7 – Espace des paramètres pour les configurations testées dans notre expérience. En abscisse, le gain des filtres, en ordonnée le déphasage imposé. Les paires de configurations reliées par des traits rouges sont les paires ayant recueilli en moyenne, par la suite, les plus grands jugements de dissemblance (voir 5.2.2).

4.2 Sujets

Afin de respecter l'homogénéité de l'ensemble des musiciens effectuant le test, ceux-ci ont été choisis parmi

des clarinettes basses classiques et professionnels. En raison de la période où les tests ont été réalisés (juin 2013), seuls 9 musiciens ont été disposés à participer à l'expérience. Ce nombre étant peu élevé, les résultats exposés plus loin n'auront pas de valeur statistique à proprement parlé, bien qu'ils révèlent tout de même des aspects intéressants de l'étude.

4.3 Déroulement de la session

La session a permis de recueillir 2 séries de données : des données numériques de jugement de dissemblance de paires de configurations $[(G_1, \phi_1), (G_2, \phi_2)]$, ainsi que des données verbales concernant la comparaison de ces mêmes paires de configurations. Le recueil des données ainsi que le déroulement de l'expérience étaient entièrement pilotés par Max/MSP et Psiexp, une interface de programmation d'expérience développée par B. Smith (1995). Une pédale de pied permettait au sujet de passer d'une configuration à l'autre pour la comparaison des paires. La session s'est déroulée dans un studio de l'IRCAM, et a duré entre une demi-heure et une heure trente en fonction des musiciens. Une phase de familiarisation de 5 minutes a été prévue, afin que le musicien apprécie l'échelle des différences perceptives induites par la variation des deux paramètres. Les paires de configurations ont ensuite été présentées au musicien. Celui-ci était laissé libre de les comparer comme il le souhaitait en passant, pour chaque paire, d'une configuration à l'autre à l'aide de la pédale. Il lui a ensuite été demandé de juger la dissemblance des deux configurations en déplaçant un curseur virtuel continu, ayant pour extrémités les termes "très similaires" (dissemblance de 0) à gauche et "très dissimilaires" (dissemblance de 1) à droite. Enfin, pour chaque paire, il a été invité à faire part oralement des différences qu'il avait entendues. La consigne "Commentez les différences entendues" était précisée oralement en début de séance, ainsi que pour chaque paire sur l'écran de l'ordinateur piloté par Psiexp. Toutes les verbalisations ont été enregistrées afin d'être traitées par la suite.

5 Résultats

Les résultats de deux des sujets (parmi les neuf ayant participé à l'expérience) ont été compromis en raison d'un dysfonctionnement de l'expérience. On présente donc ici les résultats de 7 sujets. Certains résultats des analyses verbales (voir Figures 9, 10 et 11) présentent les données de 8 sujets, lorsque les verbalisations qui lui sont associées ont pu être récupérées.

5.1 MDS INDSCAL globale

Les données numériques de dissemblance ont été analysées par analyse multidimensionnelle (MDS). Le modèle utilisé est le modèle INDSCAL [8], que l'on utilise classiquement dans l'analyse des expériences de dissemblance. Ce type de modèle, par rapport au modèle euclidien classique, permet d'ajouter dans l'algorithme MDS des poids ω_{nr} ; ceux-ci permettent de modéliser l'importance particulière que le sujet n accorde à la dimension r de l'espace perceptif

représentant les dissemblances d_{ijn} entre les stimuli i

$$\text{et } j : d_{ijn} = \sqrt{\sum_{r=0}^R \omega_{nr} (\delta_{ir} - \delta_{jr})^2}$$

On présente sur la Figure 8 l'espace perceptif 2D issu de la MDS INDSCAL obtenue à partir de l'ensemble des matrices de dissemblances des musiciens.

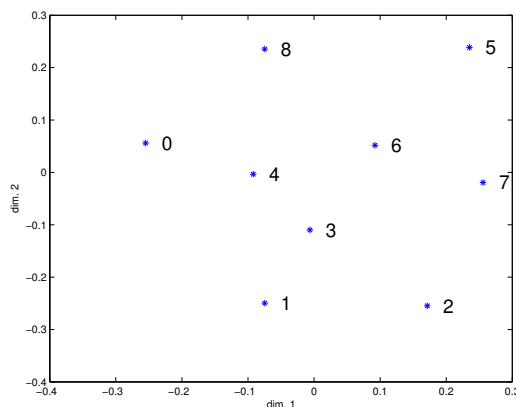


FIGURE 8 – MDS INDSCAL de l'ensemble des matrices de dissemblances des 7 sujets. Les numéros des configurations sont identiques à celles de la Figure 7. Les paires les plus éloignées sont celles qui ont recueilli en moyenne les plus grands jugements de dissemblance de la part des musiciens.

En raison du faible effectif de musiciens recrutés pour l'expérience, il s'est révélé impossible d'associer les dimensions perceptives de cet espace avec des attributs sémantiques déclarés par les musiciens. En revanche, cette MDS a permis d'identifier par la suite les paires de configurations jugées, en moyenne, plus dissemblables que les autres. Ces paires (voir Section 5.2.2) ont ensuite été utilisées comme données pour l'analyse verbale.

5.2 Analyse des données verbales

5.2.1 Champs lexicaux

Tous les musiciens se sont naturellement placés dans une optique de *comparaison* des configurations. Les verbalisations enregistrées ont donc naturellement convergé vers des formules du type "La configuration A est plus... que la configuration B." Il a donc suffi de faire une analyse lexicale pour faire ressortir les aspects musicaux qui avaient été perçus. L'analyse lexicale révèle que les verbalisations tournent autour de trois grands aspects musicaux : l'équilibre des harmoniques (à travers des mots comme "riche", "plein", "métallique", "nasillard", "timbré", "brillant"...), l'ouverture (au sens de la directivité, comme les termes "ouvert", "fermé", "centré"), et la facilité à l'émission ou au développement (qualifiée par les mots "facile", "dur", "résiste", "développe"...).

5.2.2 Consensus des musiciens

On s'est intéressé en premier lieu au consensus qui pouvait exister dans les verbalisations des musiciens, pour des paires de configurations données. Les résultats des jugements de dissemblance ayant montré que beaucoup

d'entre eux sont faibles, certaines verbalisations peuvent ne pas être considérées comme pertinentes, ou être très variables d'un musicien à l'autre. C'est pourquoi ce consensus a été analysé uniquement sur des paires qui, en moyenne, ont été jugées très dissemblables par les musiciens. Les paires qui ont recueilli les plus grands jugements de dissemblances ont été déterminées à l'aide de la MDS INDSCAL, en prenant les 5 paires les plus éloignées sur la Figure 8. Ces paires sont répertoriées sur la Figure 7 par des traits continus (0-7, 0-5, 1-5, 2-5, 2-8).

Pour ces 5 paires, les termes verbaux utilisés dans les comparaisons verbales ont été relevés et classés dans les trois catégories relevées ci-dessus (équilibre des harmoniques, ouverture, facilité). Pour la paire constituée des configurations n°1 et n°5, on relève par exemple : "5 est plus timbrée, plus de couleurs que 1", "5 est plus ronde, plus centrée", etc. Au final, concernant cette paire, 43% des instrumentistes perçoivent un changement dans l'équilibre des harmoniques, tandis que 43% perçoivent une facilité de développement ou d'accès aux partiels modifiée. Cette dichotomie dans les jugements se retrouve pour les 5 paires, c'est-à-dire qu'il n'y a pas consensus complet, même sur des paires très dissemblables. Cela peut provenir de stratégies de jugement différentes, ou tout simplement de spécificités d'attention qui diffèrent d'un sujet à l'autre. En général, au moins 40% des sujets se focalisent sur un des trois aspects, tandis que l'autre partie se divise sur les deux autres.

5.3 Corrélation des verbalisations et des paramètres physiques

La deuxième partie de l'analyse a consisté à regarder les corrélations existantes entre les paramètres physiques du système de contrôle (gain et phase) et les verbalisations recueillies.

5.3.1 Effet de l'augmentation de gain à phase constante

Tout d'abord, on s'est intéressé à l'influence de l'augmentation du gain quand la phase est fixée à $\phi = 0$. On compare ainsi les verbalisations faites sur les paires $G = 0/G = 1$ et $G = 0/G = 1.5$, c'est à dire les paires 0-1 et 0-2 (voir Figure 7). Les tendances sont résumées sur la Figure 9. On observe que l'ajout de gain modifie deux aspects majeurs : un enrichissement en harmoniques, ainsi qu'une diminution de la facilité de jeu. En abscisse sont représentées les deux paires 0-1 et 0-2, chaque barre du diagramme représentant le nombre de personnes ayant évoqué l'aspect musical qui correspond à cette barre (c'est-à-dire harmoniques, facilité ou ouverture). Le signe en ordonnée correspond à l'évolution des aspects musicaux de la configuration sans contrôle (configuration 0) à la configuration avec contrôle (configuration 1 ou 2). Si la barre prend des valeurs positives, c'est que l'aspect musical a augmenté en passant de la configuration sans contrôle à la configuration avec contrôle. Si la barre est dans les valeurs négatives, c'est que cet aspect a diminué. Un exemple : pour la paire 0-1, 2 musiciens ont trouvé que la richesse en harmoniques a augmenté avec le contrôle, tandis que 3 musiciens ont trouvé que la facilité a diminué.

On remarque que les deux aspects majoritairement évoqués sont la facilité et l'enrichissement en harmoniques :

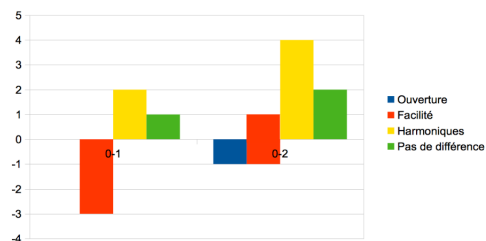


FIGURE 9 – Aspects musicaux (harmoniques, facilité, ouverture) évoqués avec la variation de gain pour $\phi = 0$.

En abscisse la paire comparée : la configuration 1 correspond à $G = 1$, la configuration 2 à $G = 1.5$ (voir 4.1).

il est net que plus le gain augmente, plus l'enrichissement en harmoniques devient évident pour près de 50% des musiciens interrogés ; ces verbalisations qui concernent l'enrichissement en harmoniques dans la configuration n°2 ($G = 2$) sont de plus associées à des jugements de dissemblances élevés ($> 0,7$) ce qui témoigne d'une modification quasi-évidente selon eux. L'aspect de la facilité, évoqué dans le cas de la configuration n°1, et bien qu'associé à des jugements de dissemblance plus faible, est aussi intéressant. Cet aspect semble disparaître avec l'augmentation du gain, cela étant peut être dû à l'augmentation de l'effet des harmoniques au détriment de l'effet de la facilité.

La même analyse est réalisée pour la valeur $\phi = \pi$. On compare ainsi la configuration sans contrôle avec les configurations n° 3, 4 et 5 afin d'évaluer l'influence du gain sur les verbalisations qui ressortent de ces configurations. Ceci est résumé sur la Figure 10.

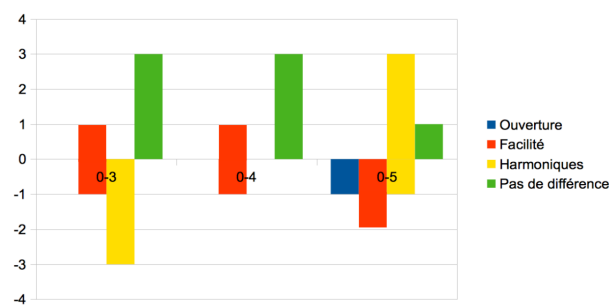


FIGURE 10 – Evolution des aspects musicaux lors de l'augmentation du gain, pour une phase constante $\phi = \pi$.

On compare ici la configuration 0 (sans contrôle) avec la configuration 3 ($G = 1$), n°4 ($G = 2$) et n°5 ($G = 3$).

Là aussi, on observe que les deux aspects majoritairement évoqués sont la facilité et l'enrichissement en harmoniques. Les verbalisations concernant les paires 0-3 et 0-4 ($G = 1$ et $G = 2$) ne semblent pas forcément pertinentes : le nombre de musiciens n'ayant pas perçu de différence s'élève à presque 50%. En revanche, les différences s'avèrent plus nettes pour la paire 0-5 ($G = 3$) : de façon générale, la configuration n°5 est perçue plus claire que la configuration sans contrôle.

5.3.2 Effet de la phase à gain maximal

En dernier lieu, l'étude de l'effet de la phase à gain maximal a été étudiée. En effet, après l'étude des

corrélations entre verbalisation et augmentation du gain à phase constante, il aurait paru normal d'étudier ensuite les corrélations entre verbalisations et augmentation de la phase à gain constant. Cependant, cela nous semble plus pertinent de regarder l'effet de la phase de manière globale : pour chaque valeur de phase ($\phi = 0$, $\phi = \pi$, $\phi = \pi/2$, $\phi = 3\pi/2$) il s'agit de considérer uniquement la configuration de l'espace des paramètres qui a le gain le plus grand, afin d'étudier l'effet de la phase dans son effet maximal, et de pouvoir ainsi considérer les verbalisations comme "vraisemblables". Les comparaisons des paires 0-2 (phase de 0, gain maximal $G = 1,5$), 0-5 (phase de π , gain maximal $G = 3$), 0-6 (phase de $\pi/2$, gain maximal $G = 1$) et 0-8 (phase de $3\pi/2$, gain maximal $G = 1,5$) ont été effectuées. Les verbalisations qui leur sont associées sont résumées sur la Figure 11.

On peut noter que : 1) amener la phase à $\pi/2$ (configuration n°6) entraîne une diminution de la facilité de jeu, ainsi qu'une augmentation de la richesse en harmoniques. La configuration n°6 paraît en effet plus claire que la configuration sans contrôle ; elle est par ailleurs plus difficile à contrôler (multiphoniques, amplification etc.) ; 2) Amener la phase à π (configuration n°5) entraîne aussi une augmentation de la clarté et une diminution dans la facilité de jeu (un musicien note par ailleurs une diminution dans l'ouverture) ; 3) Amener la phase à zéro (configuration n°2) entraîne principalement une augmentation de la richesse en harmoniques, 4) Amener la phase à $3\pi/2$ (configuration n°8) n'entraîne pas d'effet notable (près de 50% des musiciens interrogés n'ont pas décelé de différence). Cela est peut être dû à la valeur peu élevée du gain ($G = 1,5$), limité du fait des phénomènes de *larsen*.

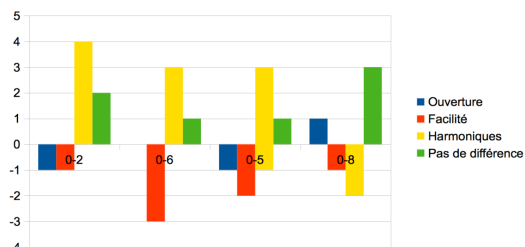


FIGURE 11 – Effet de la phase pour les configurations avec un gain maximal, en comparaison avec la configuration sans contrôle. Configuration n°2 : $\phi = 0$ et $G = 1,5$. Configuration n°6 : $\phi = \pi/2$ et $G = 1$. Configuration n°5 : $\phi = \pi$ et $G = 3$. Configuration n°8 : $\phi = 3\pi/2$ et $G = 1,5$.

6 Conclusion

Ainsi, nous avons développé un protocole original, permettant de quantifier et qualifier l'effet du contrôle actif sur les dissemblances perçues par un musicien. L'analyse de paires de configurations jugées très différentes (en moyenne) ont permis de dégager trois aspects perceptifs utilisés par les musiciens pour qualifier les différences perçues : richesse (au sens large), ouverture (au sens directivité du son), et facilité (à l'émission ou au développement du son). De plus, il semble bien exister une corrélation entre les modifications physiques apportées par le système de contrôle, et les différences effectivement ressenties par les musiciens. Les analyses de l'effet de la phase à gain maximal et de l'effet du gain à phase constante ont montré que l'augmentation

de l'amplitude ainsi que les décalages en fréquence de la fonction de transfert du système étaient corrélés perceptivement et respectivement à des enrichissements harmoniques et une modification de la facilité de jeu - pour peu que le gain soit assez grand. Cependant, nous restons conscients que l'étendue et l'homogénéité de l'espace des paramètres utilisé a dû répondre à un certain nombre de contraintes, dont celle du *larsen*, dû au retard du système de contrôle numérique qui pourrait être amélioré. Enfin, le nombre de musiciens pour cette étude était relativement restreint, et la possibilité de mener une étude à plus grande échelle permettrait peut être de révéler, à terme, des aspects musicaux communs sous-jacents aux stratégies de jugement des musiciens.

7 Remerciements

Ces travaux ont été réalisés durant le stage de Marguerite Jossic et la thèse de Thibaut Meurisse financés par l'Agence Nationale de la Recherche (projet ANR IMAREV) et l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC, Paris). Nous remercions également les musiciens qui ont participé à cette étude. Un remerciement particulier pour Alain Billard de l'Ensemble Inter-Contemporain pour son aide et ses conseils tout au long de l'étude, ainsi que pour Gérard Bertrand et Alain Terrier pour leur précieuse aide à la réalisation de l'instrument et du système de contrôle.

Références

- [1] T. Meurisse, A. Mamou-Mani, R. Caussé, D. Sharp (2013), *Active control applied to simplified wind musical instrument*, in Proc. Int. Cong. on Acoustics 2013, Montréal, Canada.
- [2] S. McAdams, S. Winsberg, S. Donnadieu, G. de Soete, J. Krimphoff (1995), *Perceptual Scaling of synthesized musical timbres : Common dimensions, specificities, and latent subject classes*, Psychol Res., 58(3), 177 – 92.
- [3] Grey J.M (1977), *Multidimensional perceptual scaling of musical timbres*, Journal of the Acoustical Society of America, 61, 1270 – 1277.
- [4] Gibson, J. J. (1979), *The ecological approach to visual perception*, MA : Houghton Mifflin, Boston.
- [5] L. Placido, A. Mamou-Mani, D. Sharp (2011), *Investigating perceptual differences between two trumpets of the same model type*, Applied Acoustics, 72(12), 907 – 914.
- [6] C. Fritz, J. Curtin, J. Poitevineau, P. Lorrel-Samuels, FC. Tao, (2012), *Player preferences among old and new violins*, PNAS, 109(3), 760 – 763.
- [7] Faure A. (2000), *Des sons aux mots, comment parle-t-on du timbre musical ?*, PhD Thesis, EHESS, Paris.
- [8] Carroll & Chang (1970), *Analysis of Individual Differences in Multidimensional scaling via an N-way generalization of "Eckart-Young" Decomposition*, Psychometrika, 35, 283– 319.