

## DETECTION DES TECHNIQUES DE JEU DE LA GUITARE

*Otso Lähdeoja*  
Institut numediart,  
TCTS Lab, UMONS  
Mons, Belgique  
otso.lahdeoja@free.fr

*Loïc Reboursière*  
Institut numediart,  
TCTS Lab, UMONS  
Mons, Belgique  
loicreboursiere@gmail.com

*Thomas Drugman*  
Institut numediart,  
TCTS Lab, UMONS  
Mons, Belgique  
thomas.drugman@umons.ac.be

*Stéphane Dupont*  
Institut numediart,  
TCTS Lab, UMONS  
Mons, Belgique  
stephane.dupont@umons.ac.be

*Cécile Picard-Limpens*  
Institut numediart,  
TCTS Lab, UMONS  
Mons, Belgique  
ccl.picard@gmail.com

*Nicolas Riche*  
Institut numediart,  
TCTS Lab, UMONS  
Mons, Belgique  
nicolas.riche@umons.ac.be

### RÉSUMÉ

Dans cet article nous présentons un ensemble d'approches pour une détection de sept techniques de jeu de la guitare: légatos ascendants et descendants, notes tirées, glissées, étouffées ainsi que la position d'attaque sur la corde. Ces algorithmes ont été conçus pour permettre au guitariste un contrôle direct des données audionumériques via ses techniques de jeu habituelles. Le but du projet est de fournir un ensemble intégré et dédié à la détection des techniques de jeu, adaptable aux différentes guitares et styles de jeu. Nous présentons ici des résultats intermédiaires mettant en évidence les algorithmes développés et leurs performances, ainsi que les premiers essais d'implémentation en une application temps réel.

### 1. INTRODUCTION

La connexion entre les instruments issus de la tradition acoustique et les systèmes informatiques est un sujet porteur de perspectives fertiles pour la création musicale. L'instrument de musique peut être, dorénavant, vu comme une interface permettant un contrôle extrêmement fin d'évènements sonores. L'accès à l'intimité des gestes du musicien offre des données en lien direct avec le discours musical ainsi qu'avec la corporéité de l'instrumentiste propres à être utilisées afin d'augmenter la performance avec des dispositifs audionumériques. La captation des gestes de l'instrumentiste peut être effectuée de deux manières: 1) directement par des capteurs disposés sur le corps du musicien ou sur l'instrument, ou 2) par l'analyse du signal audio de l'instrument, résultant des gestes du musicien. On dénomme ces techniques respectivement captation directe et indirecte [15].

A l'Institut numediart de l'Université de Mons, nous avons développé un projet intitulé "Guitar as Controller", afin d'explorer les possibilités d'une guitare augmentée par un système de contrôle gestuel de données

numériques. Ce projet a été dédié à l'étude de la captation indirecte sur la guitare et a eu pour but, comme son nom l'indique, de transformer l'instrument en contrôleur en développant des algorithmes de détection pour sept des principales techniques de jeu de la guitare.

### 2. TRAVAUX DE REFERENCE

La captation des techniques de jeu d'instrument acoustique a suscité un grand nombre de travaux, souvent portés sur les instruments à cordes frottées, mais aussi sur la guitare. Les techniques de l'archet du violon ont été étudiées en détail, par l'équipe de Tod Machover au MIT [6] et par l'équipe du violon augmenté de l'IRCAM [12].

Concernant la guitare, le "Guitar Lab" de l'Université de Malaga a étudié certaines techniques de jeu de la main gauche, aboutissant à des algorithmes de détection fiables en temps différé [9]. Caroline Traube [14] a effectué des travaux sur la détection de la position d'attaque, complétés par les travaux de l'équipe du TKK en Finlande [10]. Paul O'Graddy [8] a investigué la transcription automatique de la guitare à partir d'un signal hexaphonique (1 signal audio par corde). D'autres travaux se focalisent plus sur le côté artistique de la guitare augmentée soit par des techniques de captation directe ou indirecte utilisées pour contrôler des paramètres de synthèse sonore: [5] [11] [13]. Après avoir présenté sa guitare hexaphonique augmentée, Adrian Freed [3] va jusqu'à introduire la guitare sans corde.

Le but de notre projet a été d'inclure toutes les techniques "majeures" du jeu de la guitare au sein de nos recherches, et de parvenir à des algorithmes pouvant fonctionner dans le contexte du "temps réel musical", c'est-à-dire avec une latence inférieure à 30 ms. Nous souhaitons ainsi contribuer à l'établissement d'une technologie de guitare augmentée similaire au principe de la guitare MIDI, en proposant une plus grande finesse dans les articulations guitaristiques détectées.

### 3. METHODOLOGIE DE TRAVAIL

Nos travaux ont été effectués sur une guitare Godin Multiac, équipée de cordes nylon/alliance Savarez Alliance HT classic et d'un capteur RMC hexaphonique piézoélectrique positionné juste au niveau du sillet. Nos algorithmes de détection opèrent de manière individuelle sur les six cordes de l'instrument. L'hexaphonie permet un suivi individuel de chaque corde lors du jeu polyphonique, permettant ainsi une finesse d'analyse beaucoup plus élevée qu'une approche monophonique. La méthodologie du travail a fait se succéder les phases de 1) choix des techniques de jeu, 2) création d'une base de données, 3) développement d'un algorithme de détection d'événements (*onset*) et de discrétisation d'attaques main droite et main gauche, 4) détermination des algorithmes pour chaque technique de jeu.

#### 3.1. Techniques de jeu

Nous avons choisi un ensemble de sept techniques de jeu comme base de travail. Ces techniques correspondent aux modes de jeu les plus courants de la guitare moderne et excluant certaines techniques jugées virtuoses. Le choix des techniques de jeu s'est appuyé sur le référencement de Jonathan Norton [7].

**Légato ascendant (*hammer-on*):** note martelée avec un doigt de la main gauche

**Légato descendant (*pull-off*):** note tirée avec un doigt de la main gauche

**Glissé (*slide*):** note attaquée avec la main droite, dont la hauteur est altérée par la main gauche en glissant sur le manche

**Tiré (*bend* ?):** note attaquée avec la main droite, dont la hauteur est altérée par la main gauche en tirant sur la corde

**Notes harmoniques:** note pincée avec la main droite, légèrement effleurée au-dessus d'un nœud harmonique par la main gauche

**Position d'attaque sur la corde (*plucking point*):** localisation attaques main droite entre le chevalet et le manche (*ponticello - sul tasto*)

**Notes étouffées avec la paume (*palm mute*):** note attaquée par la main gauche tout en étouffant avec la paume, produisant un effet "sourde".

#### 3.2. Base de données

Le développement de nos algorithmes a été effectué à partir d'une base de données exhaustive des techniques de jeu de la guitare, créée pour cette occasion. Toutes les techniques mentionnées ci-dessus ont été enregistrées par deux guitaristes avec deux techniques de jeu différentes: l'un jouant aux doigts, l'autre au médiator. La base de données a été constituée en suivant les points listés ci-dessous :

- Les notes, de la corde à vide jusqu'à la 16ème frette ont été enregistrées

- Les légatos ont été enregistrés sur tout le manche en variations d'un demi-ton, d'un ton, et d'une tierce mineure.
- Les glissés ont été enregistrés en ascendant et en descendant
- Les notes tirées ne sont jouées qu'au demi-ton, les cordes en nylon ne permettant pas davantage d'amplitude
- Les cinq premières harmoniques ont été enregistrées pour chaque corde
- Les attaques "normales" ont été enregistrées en trois positions: chevalet, rosace et manche.

Chacun des guitaristes a enregistré 1416 éléments de jeu (288 notes normales, 568 légatos, 468 glissés, 66 tirés, 30 harmoniques).

La base de données que nous avons enregistrée est disponible en ligne<sup>1</sup>.

### 4. FONCTIONNEMENT DU SYSTEME DE DETECTION

La guitare est un instrument à cordes pincées, toute production du son y est liée à un événement d'excitation de la corde. Notre système prend comme unité de départ la mise en vibration de la corde (*onset*). A partir de la détection d'un nouvel événement, une discrimination est opérée afin de déterminer si cet événement provient de la main droite ou de la main gauche (type d'attaque). A partir de cette information nous définissons le type d'articulation employé. Pour le moment, notre système n'est pas conçu pour la détection d'une note conjuguant deux types d'articulation simultanés (par exemple une note étouffée à la main droite et glissée à la main gauche).

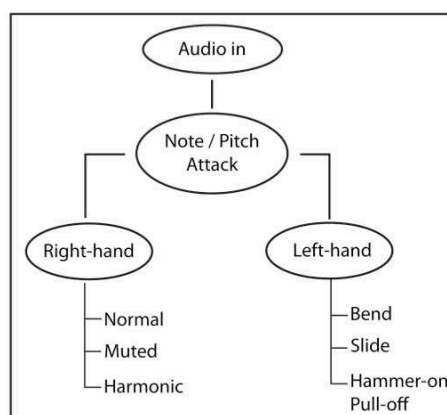


Figure 1. Schéma général du système de détection de techniques de jeu.

#### 4.1. Détection d'évènement (*onset*)

Le canevas général de la détection d'un événement (*onset*) s'articule autour de 3 étapes [1]. Tout d'abord le signal audio est pré-traité pour accentuer certains éléments-clés pour la détection (filtrage, séparation en

<sup>1</sup> <http://www.numediart.org/GuitarDB/>

bandes de fréquence, séparation entre les transitoires d'attaque et les portions stables du signal). Dans une seconde étape, la quantité d'information est réduite pour obtenir un débit de traitement plus faible. Pour finir, une étape de seuillage ou de détection de pics est utilisée pour isoler les *onsets* potentiels. Plus d'informations sur la détection d'onset peut-être trouvé dans [2].

Dans le cadre de ce projet, nous avons comparé plusieurs approches de détection d'onsets sur notre base de données de la guitare. L'évaluation suit la méthode préconisée dans [4] avec une tolérance de plus ou moins 50ms. Une tolérance aussi élevée est nécessaire pour palier au timing approximatif de la segmentation effectuée manuellement. Cependant, pratiquement parlant, les méthodes que nous comparons ici restent plus précises que la segmentation manuelle, l'erreur de détection restant généralement en dessous d'une demi fenêtre d'analyse (10 ms dans notre cas).

Les méthodes que nous avons comparées couvrent 18 variantes de méthodes basées soit sur l'amplitude soit sur la transformée de Fourier à court terme (incluant des techniques de flux spectral, des techniques basées sur la phase et leurs variantes utilisant des amplitudes pondérées ainsi que des techniques dans le domaine complexe). Il faut noter que nous n'avons pas utilisé de méthodes nécessitant une estimation de hauteur de note (*pitch*). Les fichiers de guitare utilisés pour ce test étaient les enregistrements monophoniques (somme des 6 signaux séparés) des techniques de jeu suivantes : legato ascendant, legato descendant, harmonique ainsi que les notes jouées normalement (attaque main droite). Des seuils de détection pour la F-mesure et pour le rappel (*recall*) ont été optimisés pour chaque méthode individuellement.

Nos résultats montrent que si pour les notes produites avec la main droite, la détection n'est, et ceci peu importe le type de détection employée, pas un problème, la détection des legato ascendants et descendants est meilleure lorsqu'une approche de flux spectral basée sur l'amplitude des points (bins) de la transformée de Fourier à court terme est utilisée. Elle produit une F-mesure supérieure à 96% avec un rappel proche de 100% pour les attaques main droite et pour les harmoniques, de 99% pour les légatos ascendants. Les légatos descendants montrent un résultat légèrement moins bon de 88%. Plus d'efforts devront portés sur ce dernier type de technique pour comprendre comment obtenir une meilleure détection.

#### 4.2. Articulation entre la main droite et la main gauche

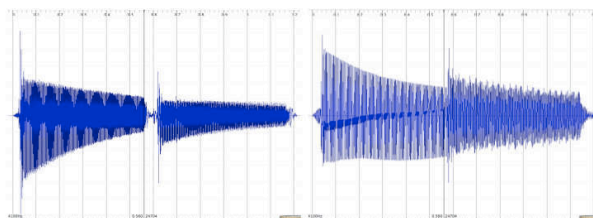
Lorsqu'une corde est pincée, le doigt ou le médiateur arrête son régime vibratoire pour un court moment avant sa mise en vibration. Au niveau de la forme d'onde du signal, cela se traduit par une courte mais marquée baisse

dans l'amplitude suivie de l'enveloppe d'attaque (Figure 2).

A l'inverse, les attaques legato de la main gauche n'arrêtent pas la vibration de la corde, produisant un changement de la hauteur de note sans baisse d'amplitude significative avant l'apparition de la nouvelle note (Figure 2).

Notre système de différenciation main droite/main gauche est donc basé sur la détection de cette baisse significative de l'amplitude en analysant les quelques millisecondes précédant un événement sonore (*onset*).

Une mesure simple de la pente entre le point d'énergie minimum précédant l'attaque et le point maximum au moment des transitoires d'attaque est effectuée. Avec un seuil optimisé, nous arrivons à un taux de réussite de 94% sur notre base de données. Les erreurs de classification sont la plupart du temps dues à des bruits parasites accompagnant l'attaque. Une autre limitation de notre système apparaît lors d'un jeu très rapide, où la vitesse des attaques brouille la fiabilité des mesures entre les points minimum et maximum de la forme d'onde.



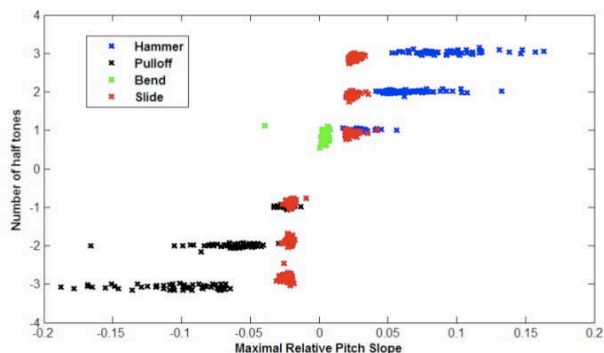
**Figure 2.** A gauche, deux notes consécutives attaquées à la main droite. On remarque une baisse de l'amplitude avant la nouvelle attaque. A droite, la deuxième note est jouée legato avec la main gauche. La vibration de la corde ne subit pas d'arrêt momentané.

### 5. TECHNIQUES DE JEU DE LA MAIN GAUCHE

Une fois l'évènement classé dans la catégorie "main gauche", il convient de déterminer la technique de jeu employée. Pour ce faire, nous analysons l'évolution temporelle du profil de hauteur (fréquence) de la note dans la durée. En effet, les articulations de la main gauche opèrent sur le placement des doigts sur les frettes ou sur la tension de la corde. Elles modifient le paramètre de hauteur dans le temps, chacune ayant un profil temporel spécifique.

Notre système mesure l'évolution de la hauteur en fonction du temps et du nombre de demi-tons de la transition entre deux notes. Après la détection de l'attaque initiale, la fréquence est mesurée par des fenêtres de 10 millisecondes et le résultat divisé par la fréquence initiale. Le système cherche la pente maximale entre deux fenêtres successives. La figure 3 montre la répartition des pentes maximales par demi-tons pour les

techniques de jeu de légato ascendant et descendant, le tiré et le glissé.



**Figure 3.** Distribution des légatos ascendants (bleu), descendants (noir), tirés (vert), et glissés (rouge) selon la dérivée de la hauteur et le nombre de demi-tons.

### 5.1. Légato ascendant et descendant (*hammer-on* et *pull off*)

Le jeu en légato consiste à modifier la hauteur par un martelé (ascendant, bleu dans la Figure 3) ou pincé (descendant, noir dans la Figure 3) de la main gauche. Dans les deux cas, le profil de fréquence est marqué par une pente abrupte qui se démarque clairement pour les intervalles supérieurs au demi-ton.

### 5.2. Tiré (*bend*)

Une note tirée (vert dans la Figure 3) affiche une pente relativement lente et obligatoirement ascendante formant un groupe identifiable sur la Figure 3. Il faut noter qu'à cause du type de cordes (nylon-alliage) utilisé, nous n'avons inclus que des notes tirées au demi-ton dans notre étude.

### 5.3. Glissé (*slide*)

Un *glissando* sur la guitare produit un profil similaire à la note tirée, mais avec une évolution un peu plus rapide (rouge dans la Figure 3). La pente des glissandi se situe entre celle des légato et des tirés, clairement identifiable sur la Figure 3 pour les intervalles supérieurs au demi-ton. Un marqueur supplémentaire peut être constitué par le fait que l'évolution de la hauteur des glissandi affiche des discontinuités correspondant aux frettes, là où le tiré affiche une continuité dans son profil. Toutefois nous n'avons pas implémenté la recherche de ce marqueur dans notre système.

Par la comparaison des pentes hauteur/temps, nous arrivons ainsi à classer toutes les techniques de la main gauche pour des intervalles supérieurs au demi-ton. Toutefois, le cas des demi-tons est problématique, du fait que les vitesses d'exécution d'un glissé, d'un tiré et d'un légato d'un demi-ton sont similaires. Pour pallier à

ce problème, nous avons testé un procédé supplémentaire afin de distinguer les notes glissées par leur fort contenu en hautes fréquences (du aux bruits de frottement du doigt passant sur les frettes). Pour ce faire, nous comparons le rapport entre le centre de gravité spectrale et le taux d'énergie de l'attaque. En combinant ces deux approches, nous arrivons à une classification satisfaisante, avec un taux de détection entre 93% et 100% selon la technique étudiée.

	Hammer-on	Pull-off	Bend	Slide
Hammer-on	93.27%	0.45%	0%	6.28%
Pull-off	0%	93.69%	0%	6.31%
Bend	0%	0%	100%	0%
Slide	1.74%	0.43%	0.21%	97.61%

**Table 1.** Matrice de confusion de la détection des quatre techniques de la main gauche (légatos ascendant et descendant, tiré et glissé).

## 6. TECHNIQUES DE JEU DE LA MAIN DROITE

### 6.1. Notes étouffées avec la paume

Le *palm muting* fait intervenir la paume de la main droite pour produire un effet étouffé, similaire au *con sordino* des cordes frottées. Les caractéristiques des notes étouffées comparées aux notes normales sont : une durée plus courte, une baisse plus rapide d'énergie globale dans l'enveloppe, ainsi qu'un faible taux d'harmoniques aigues. En tenant compte de ces marqueurs, nous avons développé un algorithme qui calcule la baisse d'énergie dans le spectre au dessus de 500Hz à partir de l'attaque. La partie grave/bas-médium du spectre (<500Hz) est filtrée pour clarifier l'analyse car cette zone contient beaucoup d'énergie pour toutes les techniques de jeu et la baisse d'énergie caractéristique du *palm muting* y est, de fait, moins visible. Les résultats sont regroupés par

String	Normal notes	Palm muted notes
1 ( <i>thresh -0.06</i> )	97.91%	93.75%
2 ( <i>thresh -0.06</i> )	100%	100%
3 ( <i>thresh -0.06</i> )	100%	100%
4 ( <i>thresh -0.04</i> )	100%	100%
5 ( <i>thresh -0.05</i> )	100%	100%
6 ( <i>thresh -0.05</i> )	97.91%	87.5%

corde dans le tableau 2. Notre système affiche un taux moyen de détection de 99,3 pour les notes normales et 96,9 pour les notes étouffées.

**Table 2.** Taux de détection des notes étouffées (par corde).

### 6.2. Estimation de la position à laquelle la corde à été pincée

Lorsqu'une corde est pincée, deux faits physiques caractéristiques apparaissent :

- Le spectre de la note montre une déficience en harmoniques qui ont un nœud (*node*) à l'endroit où la corde a été pincée
- Deux ondes parcourent la corde en sens opposé

Les deux méthodes [14] [10] présentes dans la littérature sur cette question utilisent respectivement ces deux points.

L'approche que nous proposons se base sur le 2<sup>ème</sup> fait cité ci-dessus. Ce dernier a une conséquence sur le comportement du signal dans les quelques millisecondes suivants l'attaque. La figure 4 montre les formes d'ondes spécifiques pour les trois positions : chevalet (~2cm), rosace (~10cm), manche (XIXème frette, ~22cm). Nous pouvons noter que la position du minimum de la fenêtre (1.5 période à partir de l'attaque) présentée sur cette figure évolue en fonction de l'endroit où la corde est pincée. Notre algorithme est basé sur le calcul de la distance entre ce minimum et la position de la période du signal par rapport à l'attaque.

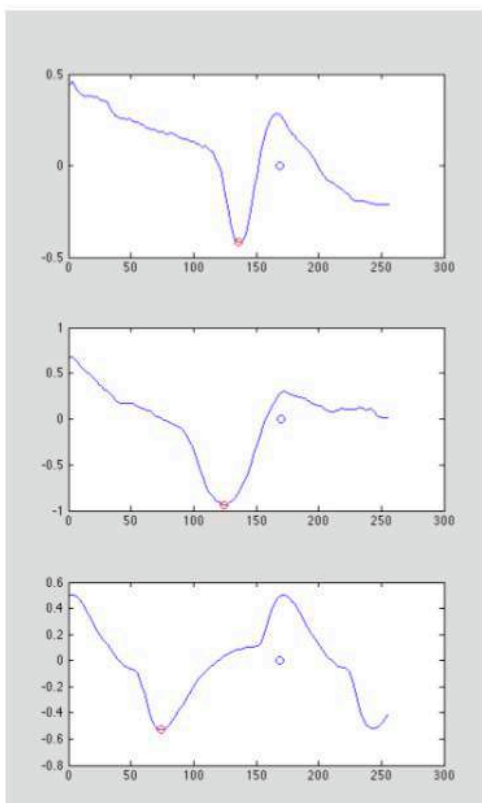


Figure 4. Formes d'onde d'une période et demie de trois attaques: chevalet, rosace et manche. En rouge le point minimum et en bleu la position de la période sur la forme d'onde.

La figure 5 montre l'histogramme résultant du calcul de cette distance pour les fichiers joués au chevalet, à la rosace et au manche. La distance est normalisée. Une valeur de 0 correspond à la position au chevalet alors qu'une valeur de 0.5 correspond à la position de la XII<sup>e</sup> frette (moitié de la corde à vide).

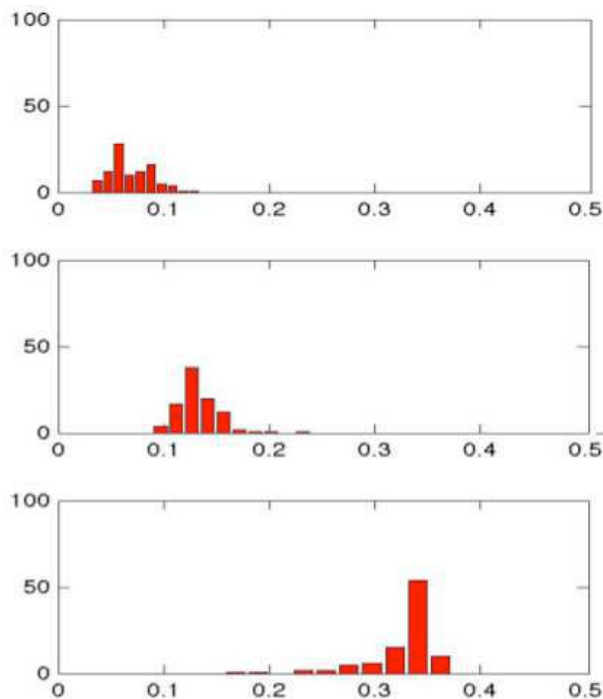


Figure 5. Histogramme des détections d'attaque conduites sur notre base de données. En abscisse la distance normalisée, en ordonnées la quantité de détections par position de jeu.

Exception faite de quelques erreurs, la position manche semble clairement se démarquer des deux autres. Les positions chevalet et rosace présentent a priori, un recouvrement plus important. Cependant, en fixant précisément deux seuils délimitant chacune des trois zones, la précédente conclusion est nuancée. Le tableau 3 présente les résultats obtenus après applications de ces deux seuils. Tous fichiers confondus, un maximum de 8% d'erreur est constaté. Ces erreurs peuvent être en partie dues au fait que la position du pincement n'a pas été précisément mesurée lors des enregistrements.

	$d < 0.1$	$0.1 < d < 0.233$	$d > 0.233$
<b>Bridge</b>	98%	2%	0%
<b>Soundhole</b>	4%	96%	0%
<b>Fretboard</b>	0%	2%	98%

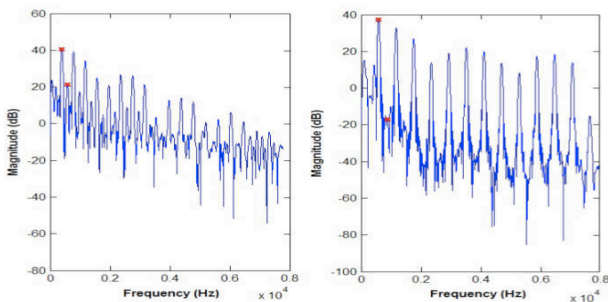
Table 3. Résultats de la détection de position d'attaque sur la corde sur 3 points: chevalet, rosace et manche.

### 6.3. Notes Harmoniques

Les notes harmoniques sont produites en effleurant la corde avec la main gauche à un nœud harmonique pendant une attaque main droite. A l'oreille, le timbre d'une note harmonique est aisément reconnaissable. Toutefois, la reconnaissance des harmoniques par un algorithme ne va pas de soi. Les modèles de détection que nous avons testé ont été confrontés au problème de distinction entre les notes harmoniques et les attaques sur

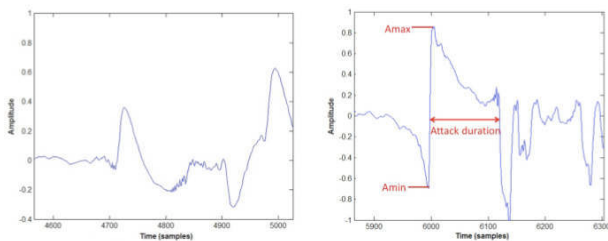
le manche (*sul tasto*). En effet, les profils spectraux de ces deux modes de jeu sont fort similaires.

La technique que nous avons retenue est basée sur le taux harmonique - subharmonique (*Harmonic-to-Subharmonic ratio*), calculé sur une fenêtre de 40 ms après l'attaque. Le taux calcule la différence d'énergie en dB entre la première harmonique ( $F_0$ ) et la subharmonique ( $1,5 \times F_0$ ). La Figure 6 montre des profils spectraux typiques pour une note normale et une note harmonique, ainsi que les points correspondants à l'harmonique et au subharmonique. La valeur du taux harmonique - subharmonique est généralement plus bas pour les notes harmoniques.



**Figure 6.** Spectre d'une note harmonique (gauche) et normale (droite) au moment de l'attaque.

Nos résultats montrent une distinction nette entre les notes harmoniques et normales, sauf pour les attaques effectués en position de manche. D'une manière générale, ce sont surtout les deux premières harmoniques (frettes 7 et 12) qui posent problème. Pour améliorer cette détection nous avons testé un système fonctionnant dans le domaine temporel. Il s'agit de la mesurer deux données de l'attaque: la durée de l'attaque, définie comme le temps que la forme d'onde reste positive après l'attaque, ainsi que la discontinuité relative, définie comme la différence entre les points Amin et Amax de l'attaque. La figure 7 met en évidence ces deux données. Nous constatons que les notes harmoniques ont généralement une plus grande durée d'attaque et une plus important discontinuité relative.



**Figure 7.** Enveloppe d'attaque d'une note normale (gauche) et harmonique (droite). Les point Amin et Amax servant à calculer la discontinuité relative ainsi que la durée d'attaque sont également indiqués.

En combinant ces deux approches, nous arrivons à des taux de détection au-dessus de 94%, détaillés dans le tableau 4.

	Harmonic detection	Normal detection
<b>Harmonic</b>	100%	0%
<b>Fretboard</b>	0.52%	99.48%
<b>Soundhole</b>	2.78%	97.22%
<b>Bridge</b>	5.38%	94.62%

**Table 4.** Matrice de confusion de la détection des notes harmoniques et les attaques chevalet, rosace, manche.

## 7. MAPPING

Notre projet de détection des techniques de jeu de la guitare a été motivé par la volonté d'augmenter la guitare par un contrôle gestuel des média numériques. Pour une première illustration des possibilités du système, nous avons implémenté des mises en correspondance (*mapping*) entre certaines techniques et des effets sonores. Nous nous rapprochons ainsi de l'idée d'un guitariste contrôlant ses effets par des gestes directement liés au jeu de l'instrument. Les mappings que nous avons effectués sont:

- Notes tirées : effet de filtre wah-wah: le guitariste contrôle le fréquence du filtre par la hauteur de la note tirée.
- Notes étouffées : effet "octaveur" rajoutant une octave grave au son. Cet effet permet au guitariste d'accéder aux sonorités d'une guitare basse par simple étouffement des cordes.
- Légato ascendant et descendant : effet percussif par la convolution du son de la guitare avec un son préenregistré (un *slap* de clarinette dans notre cas).

Nous avons également réalisé un mapping visuel vers une représentation en 3D du manche, mettant en évidence les techniques de jeu par un feedback visuel. Une vidéo de démonstration de notre système est visible à : <http://www.numediart.org/demos/> (guitar as a controller)

## 8. ETAT DES TRAVAUX, PROBLEMATIQUES, PERSPECTIVES

Le projet de 6 mois mené à l'institut numediart a permis de développer un algorithme fonctionnel et prometteur pour chacune des sept techniques de jeu sélectionnées. L'ensemble de ces algorithmes fonctionnent en temps différé sur Matlab, mais ils sont techniquement portables en temps réel. En outre, nous avons développé une série de patches Max MSP pour tester nos concepts dans des conditions du live. Les techniques de légato, tiré, étouffé, et point d'attaque ont été portés et testés sur Max MSP, et fournissent une preuve de concept pour notre système. Toutefois, des problèmes de calcul apparaissent lors qu'on utilise l'ensemble de nos algorithmes en simultané. Pour avancer vers un système intégré, il nous semble

nécessaire de passer sur une autre plateforme de programmation offrant plus de contrôle sur les opérations de bas niveau. Au-delà de l'aspect logiciel, nous avons exploré la possibilité de porter notre système sur un hardware dédié, équipé d'une entrée/conversion A/D hexaphonique et d'un FPGA. Sur le moyen terme, nous souhaiterions concevoir un système hexaphonique "plug and play" qui puisse servir à la fois d'interface audio pour la guitare ainsi que d'analyseur de techniques de jeu. Les informations provenant de l'analyse seraient envoyées à l'ordinateur (ou autre dispositif audionumérique) sous forme de données OSC ou MIDI. Ces travaux sont en cours et nécessitent encore d'amples recherches avant d'être pleinement opérationnels.

## 9. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté un ensemble d'algorithmes de détection de techniques de jeu de la guitare par l'analyse du signal hexaphonique. Des solutions opérationnelles ont été trouvées pour sept techniques, couvrant la totalité des modes de jeu les plus utilisés de l'instrument. Les taux de détection se situent systématiquement autour de 95% de réponse correcte. Pour le moment, une partie importante de nos algorithmes ont été portés et testés sur max/MSP dans les conditions du temps réel musical, et ils montrent des résultats directement applicables pour la création musicale. Afin de poursuivre nos recherches vers une guitare augmentée permettant de contrôler des données audionumériques via les techniques de jeu, nous souhaitons désormais concentrer nos efforts vers la mise en place d'un système logiciel dédié, fonctionnant en temps réel et couvrant l'ensemble des techniques étudiées.

## 10. REFERENCES

- [1] Bello J. P., Daudet L. *et al.* A tutorial on onset detection in music signals. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 16 (5), 2005.
- [2] Brossier P.M. Automatic Annotation of Musical Audio for Interactive Applications, Phd thesis, Centre dor Digital Music Queen Mary, University of London, august 2006.
- [3] Freed A. Joy of hex and the cordless guitars of the future. In *Identites de la Guitare Electrique*, 2009.
- [4] Holzapfel A Three dimensions of pitched instrument onset détection, Holzapfel, *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, 18 (6), 2010.
- [5] Lähdeoja O. Une approche de l'instrument augmentée, La guitare électrique. Phd thesis, Ecole Doctorale Esthétique, Sciences et Technologies des Arts, Université Paris 8, 2010.
- [6] Machover T. *Hyperinstruments – A Progress Report 1987-1991*, Technical report, Massachusetts Institute of Technology, 1992.
- [7] Norton J. C. *Motion capture to build a foundation for a computer-controlled instrument by study of*

*classical guitar performance*, Thèse de doctorat, CCRMA, Dept. of Music, Stanford University, 2008

[8] O'Grady P. D. et Rickard S. T. *Automatic Hexaphonic Guitar Transcription Using Non-Negative Constraints*, Proceedings of the Irish Signal and Systems Conference, 2009

[9] Ozaslan T.H., Guaus E. *et al.* Attack Based Articulation Analysis of Nylon

String Guitar, Proceedings of CMMR 2010, Malaga,

[10] Pettinen H. et Välimäki V. A time-domain approach to estimating the plucking point of guitar tones obtained with an under-saddle pickup. In *Applied Acoustics*, volume 65, pages 1207–1220, 2004.

[11] Puckette M. Patch for guitar. In Pd-convention, 2007. patches Puredata : <http://cra.ucsd.edu/~msp/lac/>.

[12] Rasamimanana N. *Geste instrumental du violoniste en situation de jeu: analyse et modélisation*, Thèse de doctorat, IRCAM/Université Paris 6, 2008.

[13] Reboursière L., Frisson C. *et al.* Multimodal guitar: A toolbox for augmented guitar performances. In Proceedings of NIME, 2010.

[14] Traube C. et Depalle P. Extraction of the excitation point location on a string using weighted least-square estimation of comb filter delay. In Proceedings of the Conference on Digital Audio Effects (DAFx), 2003.

[15] Wanderley M. M., *Interaction musicien-instrument : application au contrôle gestuel de la synthèse sonore*, Thèse de doctorat à l'Université de Paris 6, 2001.