

Guitare électrique augmentée

Une approche du contrôle gestuel des « effets » de la guitare électrique

Otso Lähdeoja

CICM MSH Paris Nord Université Paris 8
4, rue de la croix faron 93210 St Denis
otso.lahdeoja@free.fr

RESUME

Le développement de la guitare électrique se fonde sur un rapport d'accumulation entre l'instrument initial acoustique et des modules électroniques qui viennent s'y greffer. Dans ce texte, nous examinons la nature de ce lien et les conséquences qu'il peut avoir sur les évolutions de l'instrument et sur sa pratique. Nous nous intéressons particulièrement à la question du contrôle gestuel du traitement du signal, mettant en lumière les problématiques inhérentes aux dispositifs actuels et en proposant quelques perspectives pour une meilleure intégration geste – son, développées au sein du CICM sur un projet expérimental de « guitare augmentée ».

1. LA GUITARE ET SES AUGMENTATIONS¹

Depuis son électrification, la guitare a acquis un statut emblématique d'instrument « actuel », évoluant au gré de la technologie et constituant un terrain propice à une intense activité d'expérimentation organologique. Dans la perspective de la recherche portant sur les instruments augmentés, la guitare électrique pose un préalable intéressant. La pratique instrumentale des guitaristes se distingue en effet comme une pratique intégrant le travail sur traitement du signal, les dispositifs numériques, et désormais l'adoption de la combinaison guitare – ordinateur. Riche de cette expérience, les succès et les échecs de la guitare électrique peuvent fournir des renseignements précieux pour le développement des environnements instrumentaux augmentés.

L'invention du microphone électromagnétique et de la guitare électrique (commercialisée en 1932 par Ro-Pat-In / Rickenbacker [1]) a ouvert la porte au développement des musiques amplifiées – véritable révolution dans le fait musical du XX^{ème} siècle. Portée par une demande populaire et encouragée par l'esthétique valorisant l'originalité et l'individualisme de la nouvelle musique (rock, pop, jazz) [11], une industrie florissante de guitares électriques et de modules de traitement et d'amplification s'est emparé

de cette opportunité, lançant une vaste entreprise d'exploration des possibilités sonores du nouvel instrument électrique. Il est en effet difficile de penser à un instrument qui aurait fait objet de plus d'expérimentations et de développements, et qui aient été réellement accessibles, testés et utilisés par les musiciens eux-mêmes.

Un grand éventail de technologies et de stratégies a été exploré dans la recherche de qualités sonores nouvelles et désirables : Modifications mécaniques sur l'instrument lui-même, développement des microphones, traitement du signal par des effecteurs, recherche de timbre et de volume par l'amplification. Evoluant d'abord dans la technologie électronique analogique, l'industrie de la guitare intègre dès 1984 la technologie numérique en créant un pont entre l'audio et la norme MIDI [10]. Au début des années -80 arrivent aussi les premiers effecteurs numériques qui traitent le signal audio en temps réel.

2. QUELQUES JALONS DANS L'EVOLUTION DE LA GUITARE ELECTRIQUE

- Commercialisation de la guitare électrique en 1932 [1]
- Amplification dédiée (début dans les années -40, fonctionnelle à partir des années -50)
- Traitement du signal électroanalogique (à partir des années -60), mise en place des effets classiques – temporels (*delay, chorus, flanger...*), filtrage (*eq, wah-wah*), saturation (*overdrive, fuzz*)
- Guitare synthétiseur analogique (Roland gr-500, 1977), guitare avec un microphone hexaphonique spéciale envoyant des données de contrôle analogiques (*control voltage/gate*) vers un synthétiseur monophonique analogique [10]
- Guitare synthétiseur MIDI (Roland GR-700, 1984) technologie *pitch to MIDI* convertit des aspects du signal de la guitare en données informatiques [10]
- Effets numériques (à partir des années -80), opérations algorithmiques sur le signal audionumérique
- Modélisation numérique (amplificateurs, effets, haut-parleurs, types de guitares...années -90)
- Guitares avec traitement de signal numérique intégré (2000)

¹ Dans le cadre de nos recherches, nous employons le terme « augmentation » pour désigner toute hybridation entre un instrument de musique traditionnel et des technologies électroanalogiques ou numériques, dans un sens détaché de sa définition habituelle établie dans le cadre de la « réalité augmentée ».

2.1. Evolutions récentes :

Les évolutions récentes de la guitare électrique sont motivées par l'accroissement de la puissance de calcul des microprocesseurs qui permet des opérations de plus en plus complexes sur un signal audio de haute qualité, en temps réel. Ainsi, depuis le tournant du siècle, la guitare trouve de nouvelles augmentations numériques, à la fois par des extensions vers l'ordinateur et intégrées à l'instrument lui-même.

Les applications logicielles actuelles commercialisées pour la guitare se présentent comme des remplaçants virtuels des effets et des amplificateurs. Elles ont tendance à vouloir reproduire les sonorités « classiques » en modélisant par des algorithmes complexes le comportement non-linéaire des unités analogiques, très valorisées par les guitaristes. L'industrie propose aujourd'hui de nombreuses solutions « *plug & play* » comportant un vaste choix d'amplificateurs et d'effets virtuels, où la guitare se connecte directement à l'ordinateur via une interface audio *adc/dac*. A l'image du *Guitar Rig* commercialisée par Native Instruments en 2004, qui comporte une interface audio dédiée, un pédalier de contrôle et un choix d'effets et d'amplificateurs virtuels.

Les premiers dispositifs de traitement de signal numérique incorporés directement dans la guitare elle-même commencent à voir le jour actuellement. Sur ce nouveau terrain, les fabricants prennent des directions différentes : effets numériques intégrés à la guitare (Alesis *XGuitar*), choix de plusieurs sonorités de guitares modélisées sur un seul instrument (Line 6 *Variax*), et récupération individuelle du son de chaque corde en audionumérique haute définition (Gibson *HD Digital Guitar*).

3. LA GUITARE ELECTRIQUE - INSTRUMENT MODULAIRE

A partir des années -60, la rencontre entre l'offre technologique et la pratique instrumentale de plusieurs générations de guitaristes se traduit par une vaste expérimentation technologique à caractère empirique où les possibilités sonores et la facilité d'utilisation en situation de jeu sont pesées. Instinctivement, les guitaristes adoptent certaines innovations qui leur conviennent à la fois de point de vue du son que de la facilité d'utilisation en situation de jeu, mettant progressivement au point la configuration désormais classique de la guitare électrique.

Dans cette configuration, la guitare est connectée à un ensemble variable de modules de traitement du signal – des « effets » - puis à un amplificateur. A chaque étape, le signal est traité et le timbre modifié, avec des

possibilités plus ou moins grandes de contrôle de la part de l'instrumentiste.

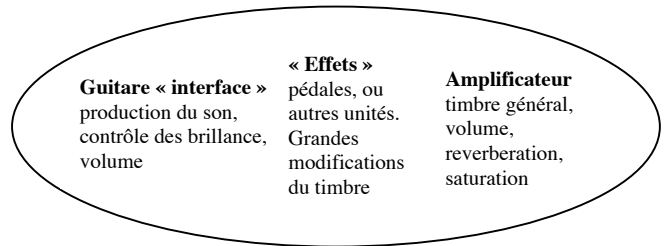


figure 1. constituants modulaires de la guitare électrique

Toutes les composantes de cette configuration sont nécessaires pour exploiter pleinement les possibilités sonores de la guitare électrique. La guitare électrique dépourvue d'amplificateur n'a que peu de sens, l'inverse encore moins. L'utilisation des pédales d'effet augmente grandement les possibilités expressives de la guitare électrique, comme l'a montré Martin Laliberté dans son étude comparative sur les qualités instrumentales des instruments de musique [7]. De fait, les pédales d'effet font partie intégrante de la construction des « sons » emblématiques (overdrive, fuzz, wah-wah...) et elles sont utilisées par la grande majorité de guitaristes.

La guitare électrique peut ainsi se penser comme un instrument modulaire composé de plusieurs parties interconnectées, physiquement étendu. Loin de la relation immédiate entre le geste et le son propre aux instruments acoustiques où l'énergie du geste se traduit directement en énergie acoustique [4], la guitare électrique est un dispositif hybride où le résultat sonore dépend à la fois des actions sensibles de l'instrumentiste (toucher, techniques de jeu) et des traitements analogiques ou numériques du signal. Au lieu d'un instrument « monolithique », aux frontières bien définies, elle se présente plutôt comme un « environnement de création » où les modules de traitement du signal et d'amplification font partie intégrante de l'instrument au même titre que la « guitare-interface » elle-même.

4. EXPANSION DU TIMBRE ET LA QUESTION DU CONTROLE

La motivation initiale qui a conduit au développement de la guitare électrique n'était nullement liée à une recherche d'expansion du timbre mais au besoin d'augmentation du volume sonore induit par la musique populaire [12]. Fidèle à ce cahier de charges, la guitare électrique a été construite comme une guitare acoustique amplifiée - ce qu'elle reste essentiellement encore aujourd'hui. Ce parti pris technologique a eu de grandes répercussions sur tout le développement de la guitare électrique en tant qu'instrument indépendant. La technique instrumentale électrique restant quasi

identique au jeu de la guitare acoustique, elle n'intègre nullement les paramètres sonores introduits par l'électrification. Les deux mains du guitariste électrique autant qu'acoustique travaillent sur les propriétés mécaniques de la corde et de la lutherie qui l'entoure. Cela signifie que le traitement du signal, qui pourtant constitue une partie importante de l'instrument électrique modulaire, doit se situer en dehors et en marge de la technique instrumentale traditionnelle. Les deux mains étant presque pleinement occupées à produire le son, il existe un manque de gestes disponibles pour le contrôle du traitement, pourvus de qualités de précision et d'expressivité propres aux gestes instrumentaux. Ainsi le contrôle du traitement se trouve relégué à la périphérie corporelle (pieds), ou tant bien que mal entre les gestes de la technique classique (mains), résultant en une relative pauvreté expressive.

4.1. Types de contrôle gestuel de la guitare électrique

Confrontés aux contraintes de la technique « standard », les guitaristes électriques désireux d'intégrer le traitement du signal dans leur palette sonore ont dû mettre au point un ensemble de gestes et d'accès gestuels qui se situent « en dehors » du jeu des deux mains sur la corde. Cette « technique instrumentale augmentée » quelque peu rudimentaire repose sur l'héritage d'une technologie analogique. Elle est désormais universellement acceptée et utilisée par les guitaristes et les fabricants sans que des questions soient posées sur ses qualités technologiques et expressives. Elle se résume en quelques gestes et leurs correspondants technologiques assez simples.

- Accès gestuels de la main :
 - Potentiomètre « à tour »,
 - Commutateur on/off ou à plusieurs positions.
 - Captation de la force d'attaque sur les cordes, par le suivi de l'enveloppe d'amplitude du signal.
- Accès gestuels du pied :
 - Pédale d'expression (potentiomètre-pédale)
 - Pédale commutatrice

Les potentiomètres et les commutateurs des pieds et des mains rajoutent des nouveaux gestes à la technique « standard ». Le suivi d'amplitude capte des données d'un geste inclus dans cette technique, dédoublant ainsi son résultat sonore. En plus d'une réponse mécanique/acoustique, le geste acquiert un correspondant supplémentaire électroanalogique/numérique.

A part quelques exceptions peu diffusées (voir ci-dessous), cette liste résume l'ensemble des accès gestuels de la « technique augmentée » de la guitare électrique actuelle. Ces solutions persistent malgré les changements de paradigme technologique de

l'électroanalogique au MIDI et à l'audio numérique. Même les dispositifs numériques les plus avancés d'aujourd'hui ont recours à ces types d'accès gestuels, à l'image d'un processeur multieffets comme le Boss gt-8, qui propose 44 types d'effets dont 13 simultanés, contrôlés par une pédale d'expression, ainsi que par des potentiomètres « à tour » et des boutons commutateurs, inaccessibles car posés par terre... [3].

4.2. Des possibilités sonores sous-exploitées

Le fait de reléguer le traitement du signal à la périphérie de la technique instrumentale a pour résultat un instrument modulaire, composé de plusieurs parties, chacune ayant sa propre fonction et son propre accès gestuel. Du point de vue de l'instrumentiste, cela signifie un environnement technologiquement et spatialement complexe, qu'il doit s'efforcer de contrôler avec ses capacités physiques disponibles. Compte tenu des limitations du corps humain, l'accumulation de modules constituants d'un instrument trouve vite ses limites : tourner des boutons, contrôler des commutateurs, ajuster des paramètres entre divers pédales, amplificateurs, microphones... toute cette activité demande un prix sur le geste musical, qu'elle perturbe et morcelle.

Faute de moyens gestuels pour contrôler son environnement complexe, la guitare électrique est restée globalement dans un paradigme du timbre fixe : à l'aide des effets, l'on élabore en « réserve » un ou plusieurs timbres souhaités, puis au cours du jeu, l'on les rappelle par des commutateurs on/off. Chaque état correspond à un traitement qui reste statique sans tenir compte des variations du signal entrant ou des intentions de l'instrumentiste. Compte tenu des vastes possibilités sonores offertes par les techniques de traitement du signal d'aujourd'hui, ces solutions de contrôle adoptées par la guitare électrique ne nous semblent pas être en mesure d'exploiter pleinement le potentiel de l'instrument. L'hybridation acoustique-électronique qui a produit le succès de la guitare électrique analogique reste sous-exploité dans sa version numérique par manque d'intégration de la partie électronique à la technique de jeu.

5. D'AUTRES PERSPECTIVES POUR LE CONTROLE GESTUEL DES EFFETS ET DU TIMBRE

Au-delà de la petite collection de gestes et d'accès gestuels que les guitaristes ont l'habitude d'utiliser, l'on peut imaginer un grand nombre d'autres solutions intéressantes. Certaines ont été expérimentées par l'industrie de la guitare, puis laissées de côté par manque de demande ou à cause des difficultés acoustiques et techniques. D'autres restent - à notre connaissance - inexplorées, constituant un champ de

recherche prometteur pour l'augmentation de la guitare électrique.

En guise d'exemple, l'on peut citer le préalable intéressant de la *Talk Box* (apparue vers 1963), un contrôleur de timbre buccal s'appuyant sur le principe de formation des voyelles dans l'appareil phonatoire humain. Le son amplifié de la guitare est injecté dans la bouche du guitariste via un tube, retravaillé (filtré) par les mouvements de la bouche et repiqué par un microphone intégré avant l'amplification finale. Le résultat sonore est une mixture troublante de son de guitare et de sons vocaux qui évoque une « guitare qui parle » [13].

Un autre exemple intéressant de travail gestuel sur le timbre est le contrôle du *feedback*, boucle de réinjection sonore entre la guitare et l'amplificateur, par le positionnement de la guitare vis-à-vis de l'amplificateur et par l'ajustement du volume, de la saturation et du filtrage. Ce rapport au timbre est très recherché et utilisé par la majorité des guitaristes rock, mais il est extrêmement difficile à reproduire à l'identique, restant soumis aux aléas des conditions acoustiques et matérielles présentes.

Au-delà de ces exemples, un grand nombre de combinaisons entre le geste et le son restent encore inexplorées sur la guitare. En faisant appel aux techniques existantes de captation de geste et d'analyse de signal, il est possible d'« entrer en contact » avec le geste instrumental et d'en extraire des informations qui peuvent être utilisées pour contrôler des dispositifs de traitement du signal. Cette captation gestuelle peut se porter sur la technique instrumentale « standard », ouvrant un deuxième niveau de sonifications possibles des gestes de manipulation traditionnels. Nous pouvons aussi chercher à « activer » des gestes qui demeurent en dehors de la technique traditionnelle, créant ainsi de nouvelles relations geste- son et l'esquisse d'une « technique instrumentale augmentée » qui intégrerait pleinement d'autres parties du corps que les mains. Certaines recherches actuelles portant sur l'augmentation d'instruments classiques ont ouvert des voies fructueuses dans ce domaine, par exemple les travaux d'analyse des paramètres perceptifs du son produit conduits à la MIT Hyperinstruments Group [5], ou l'analyse des propriétés physiques du geste instrumental, comme celle des mouvements de l'archet dans projet de violon augmenté de l'IRCAM [2], [9].

Une autre direction prometteuse est présentée par les « effets audionumériques adaptatifs » (A-DAFX [14]). Il s'agit d'un principe d'assujettissement du comportement des effets audio au signal entrant – et donc au geste instrumental, créant une relation immédiate et dynamique entre la source sonore et le traitement effectué sur lui.

6. UNE GUITARE AUGMENTEE EXPERIMENTALE

Au Centre de Recherche en Informatique et Création Musicale (CICM) de l'Université Paris 8, nous développons actuellement une guitare électrique augmentée. Cette guitare, équipée d'un certain nombre de capteurs de grandeurs physiques et prolongée par un logiciel d'analyse et de traitement du son réalisé sous Max/MSP, est conçue pour fournir un cadre d'expérimentation du contrôle gestuel du traitement du signal en temps réel. Le travail de recherche est motivé par le constat de manque d'intégration du traitement du signal dans la technique instrumentale, et par la perte de potentiel sonore et expressif qui en résulte. Il cherche à lier harmonieusement la technique de la guitare avec une technique « augmentée ». La recherche se fonde sur une connaissance intime du jeu de la guitare de la part de l'auteur de cet article, fruit d'une pratique longue de quelques décennies, et des compétences en analyse et en traitement du signal de l'équipe du CICM.

Nous présentons ci-dessous une sélection des augmentations réalisées dans le cadre de ce projet, d'autres ont été précédemment publiées [6]. Nous sommes actuellement en train de travailler sur l'intégration de ces propositions en un environnement instrumental complet. La description détaillée de cette guitare augmentée fera objet d'une future publication.

6.1. Exemples d'augmentations

L'approche de l'augmentation adoptée dans notre travail repose sur la constatation qu'il est réducteur de penser l'instrument de musique détaché de l'instrumentiste et de la technique instrumentale. Un instrument de musique dépourvu de l'homme qui en joue reste un objet inerte, dépourvu de son sens. Il est nécessaire de penser cet objet en termes de continuum entre un geste, une localisation que le geste excite et du son résultant. Réfléchir en ces termes nous permet d'envisager des augmentations qui lient le traitement du signal à la technique instrumentale et au corps du musicien, palliant aux défauts constatés dans les dispositifs actuels.

Pour mettre en oeuvre un lien entre le geste et le logiciel sonore, nous devons avoir recours à une captation et à une traduction numérique du geste. Cela peut se faire soit de manière directe en ayant recours à des capteurs de grandeurs physiques attachés à l'instrument ou au corps du musicien, ou par captation indirecte en analysant le signal sonore de l'instrument, porteur d'informations sur le geste qui en est la source [15]. Nous présentons ici deux exemples de captation indirecte et un exemple de captation directe. Des exemples visuels et sonores de ces augmentations se trouvent à :[http:// www .myspace.com/maamusique](http://www.myspace.com/maamusique)

« *Muting* »

La technique du médiateur de la main droite permet deux positions de base sur la corde, l'une « ouverte », l'autre « fermée » où le paume de la main repose légèrement sur les cordes, atténuant l'amplitude et la durée de leur vibration. Cette technique est appelée *muting*, et elle est largement utilisée dans la technique de la guitare électrique. Notre augmentation expérimentée sur le *muting* repose sur la détection du changement spectral qu'il induit : les attaques atténuées produisent un son caractéristique, moins brillant et plus bref, qu'on distingue perceptivement et que l'on peut détecter par l'analyse du spectre du signal. La technique employée repose sur l'échelle *bark*, une division du spectre en 25 zones délimitées selon les propriétés de la perception auditive. Ainsi, quelque soit la corde jouée, l'effet sur le spectre induit par le *muting* peut se détecter dans les zones supérieures de l'échelle. En mesurant l'énergie spectrale dans ces zones et en fixant des seuils en fonction de l'amplitude de l'attaque, nous pouvons détecter les notes atténuées. Dans notre guitare augmentée, ce dispositif est utilisé pour une activation/désactivation gestuelle des traitements. Par exemple, via un mapping vers un effet de saturation, le guitariste peut exécuter des passages en son clair (technique « ouverte »), et passer instantanément en son saturé (*muting*). Ce passage correspond à un geste précis qui acquiert ainsi une nouvelle signification musicale, dans un rapport plus sensible et immédiat qu'une pédale commutateur posée par terre.

« *Bend* »

Les doigts de la main gauche qui s'appuient sur la corde ont une fonction essentielle de travail d'intonation de la note par des mouvements horizontaux et verticaux minutieux. Ces inflexions peuvent aller d'un léger vibrato jusqu'à des notes tirées (*bend*) une tierce au-dessus de la hauteur originale. L'idée de cette augmentation est d'intégrer ce geste dans l'élaboration du timbre, étendant sa fonction de la variation de hauteur à une double variation de hauteur-timbre. Le dispositif met en oeuvre une analyse de la variation de la hauteur pour chaque note jouée (objet msp *pitch*~), détectée par l'attaque du début de son (objet *bonk*~). Les données de variation sont utilisées pour contrôler des paramètres d'un effet. Par un mapping vers les fréquences de coupure et le gain d'un filtre passe-bande, nous avons réalisé un effet *wah-wah* filtrant selon les intonations de vibrato et de *bend*, ce qui donne un caractère sensible et tactilement contrôlable à cet effet.

« *Inclinaison du buste* »

La guitare électrique se joue communément debout, la guitare attachée au buste avec une lanière, permettant un ensemble de mouvements caractéristiques du haut du corps. Ces mouvements ont souvent un rapport très sensible avec le jeu et les sons produits, mais ils n'ont

aucune incidence sur lui. Ils peuvent être contrôlés consciemment pendant le jeu et peuvent être exécutés sans gêner les techniques « standard ». La démarche adoptée dans notre projet est de tenter d'activer le potentiel expressif contenu dans ces mouvements et de le diriger vers le contrôle du timbre.

Un accéléromètre/inclinomètre deux axes a été attaché au corps de la guitare, permettant de récupérer son inclinaison et son accélération en tant que données de contrôle du logiciel. Pour le musicien, cela correspond à « activer » le mouvement de son buste dans les directions frontale et latérale. Conçu au départ sur le modèle de la pédale de *sustain* des pianos électriques, le mouvement du buste s'est montré propice pour contrôler une large variété de paramètres, notamment des niveaux de mélange effet/signal originel (*dry/wet*), ou le niveau des effets travaillant sur le contenu harmonique (*harmonizer*, *chorus*). La qualité du rapport entre ce mouvement qui apparaît naturellement chez la plupart des guitaristes et les effets paraît excellente, très sensible et porteuse de qualités musicales.

7. CONCLUSION

La guitare électrique constitue un préalable intéressant d'une pratique instrumentale augmentée, étendue et modulaire. Elle propose une énorme palette de possibilités sonores dans laquelle chaque guitariste peut sculpter ses propres sonorités. Toutefois, le plein potentiel expressif de cet instrument reste inexploité par manque d'intégration du contrôle du traitement du signal dans la technique instrumentale.

Par des techniques de captation directes et indirectes, il est désormais possible de mettre en oeuvre une intégration plus réussie entre la guitare et sa greffe électrique et numérique. Les perspectives de la disparition du caractère modulaire de l'instrument en faveur des dispositifs couplant guitare et ordinateur, avec une transmission de données numériques entre les deux, peuvent permettre de repenser la manière dont est contrôlée l'élaboration du timbre. Dans notre recherche, nous tentons de mettre en lumière de nouveaux liens entre geste et son qui peuvent contribuer à la construction d'un rapport plus immédiat, plus sensible et finalement plus musical. Les résultats obtenus dans notre projet expérimental nous semblent encourageants, produisant un instrument augmenté doté de qualités et de possibilités expressives nouvelles, sans entraver la technique de guitare standard.

REFERENCES

1. Aimi R. M. *Hybrid Percussion : Extending Physical Instruments Using Sampled Acoustics* Thèse de doctorat au Massachusetts Institute of Technology 2007 p. 41

2. Bevilaqua F. *Interfaces gestuelles, captation du mouvement et création artistique* L'inouï #2, éd. Léo Scheer 2006
3. Boss Gt-8 multi-effets floor processor <http://www.bosscorp.co.jp/products/EN/GT-8/>
4. Genevois H. *Geste et pensée musicale : de l'outil à l'instrument*. In *Les nouveaux gestes de la musique*. Parenthèses éd. 1999 p. 36
5. Jehan T. *Perceptual Synthesis Engine : An Audio-Driven Timbre Generator* Thèse de Masters au Massachusetts Institute of Technology 2001
6. Lähdeoja O. *Une approche de l'instrument augmenté – le cas de la guitare électrique* actes de la conférence IHM Paris 2007, p. 243
7. Laliberté M. Un principe de la musique électroacoustique et informatique et son incidence sur la composition musicale Thèse de doctorat à l'école des hautes études en sciences sociales, Paris 1994, p. 61
8. Machover T. *hypeinstruments homepage* <http://www.media.mit.edu/hyperins/>
9. Rasamimanana N. H. *Gesture Analysis of Bow Strokes Using an Augmented Violin* Mémoire DEA Université Paris VI 2004
10. Roland database <http://www.geocities.com/SiliconValley/9111/roland.htm#guitars>
11. Rousselot P. *L'homme et l'instrument dans le répertoire libre* cahiers de l'ircam 7, IRCAM, Paris 1995 p.118
12. Smitsonian Institute, *The Invention of the Electric Guitar* <http://invention.smithsonian.org/centerpieces/electricguitar/invention.htm>
13. Talk Box http://en.wikipedia.org/wiki/Talk_box
14. Verfaillie V. *Effets audionumériques adaptatifs* Thèse de Doctorat à l'Université de Aix-Marseille II, 2003 pp. 167-211
15. Wanderley M. *Interaction musicien-instrument: application au contrôle gestuel de la synthèse sonore* Thèse de doctorat à l'Université de Paris VI 2001 pp. 40-44