



Jongleries musicales

Aymeric Willier
UTC UMR 6600
BP 20529
60205 Compiègne Cedex France
aymeric.willier@utc.fr

Résumé : Le jonglage est un art qui s'adresse essentiellement à notre vision. Cependant, de plus en plus de spectacles, résultants d'un travail conjoint de jongleurs et de musiciens, révèlent l'intérêt de celui-ci pour notre ouïe. Le travail présenté ici a pour objectif d'offrir au jonglage une interaction encore plus directe avec le sonore : il propose de recycler les gestes effectués par le jongleurs pour mouvoir les objets, en gestes de contrôle de la musique. L'interface présentée repose sur le traitement des signaux électromyographiques des principaux muscles utilisés pour le jonglage.

Mots clefs : Jonglage, Musique , interaction, Interface Midi , Electromyographie.

1 Jonglage et musique : des bases pour une interaction

1.1 Motivations

Le jonglage est d'évidence un art qui sollicite chez nous essentiellement un sens : la vue. Dès lors la musique, qui elle, s'adresse principalement à l'ouïe, est souvent exploitée conjointement au jonglage. De façon très simple, elle peut être une ponctuation des temps forts, comme elle l'est dans l'utilisation du roulement de tambour dans un numéro de jonglage basé sur l'exploit. Lorsque le numéro de jonglage se théâtralise, la musique vient compléter les personnages, les ambiances, ou les sentiments. Dans cette dernière approche, l'accompagnement d'une bande sonore, celle d'un petit orchestre, remplit tout à fait les attentes. Qui plus est, la relation entre jonglage et musique n'est pas directe : elle passe par le sentiment, le personnage, l'ambiance qui tient de la théâtralisation, de la mise en scène du spectacle : il s'agit plus ici de mise en relation simultanée du jonglage et de la musique au travers de la mise en scène, que d'une mise en relation directe du jonglage et de la musique.

Une relation plus directe entre jonglage et musique naît avec l'exploitation des « bruits de jonglage ». Les bruits de jonglage sont ceux que peuvent produire mécaniquement les objets manipulés par le jongleur, eux-mêmes, ou au contact d'autres objets. Furent-ils jusqu'à présent considérés comme indésirables, et alors couverts si possible par la musique du numéro, ou ignorés justement, car la musique les étouffait, en empêchant leur perception par le spectateur, voire par le jongleur lui-même ? Quoiqu'il en soit, les jongleurs les ont progressivement admis comme partie intégrante de leur prestation, au point d'en travailler la production. L'un des principaux intérêts de l'utilisation des bruits de la jongle est la relation de cause à effet entre les gestes du jongleurs et leur production. Leur limitation principale se révèle rapidement dans les sons qu'il est possible de générer. Ceux-ci restent tout d'abord ceux physiquement productibles par les balles, massues et autres objets jonglés qui ne sont pas conçus à des fins musicales.

Deux réactions à cette limitation ont alors été constatées. La première est la transformation d'objets usuels du jonglage dans le but d'en accroître le potentiel sonore : exploitation des vibrations d'une ficelle de diabolo, à l'identique de celle des vibrations d'une



corde de guitare, adjonction aux massues de grelots ou de hochets, ou fixation de sonnailles sur les cerceaux, balles remplies de grelots (1) ... De même est exploitée la rotation du diabolo comme excitation de résonateurs acoustiques fixés sur ce dernier...marquant ainsi un retour aux origines de cet ancien leurre guerrier. Les bruits d'impact de balles de rebonds, sur des planchers quelconques, puis sur des « cubes de rebond », cavités résonnantes pouvant être accordées, ont également été exploités (2). La seconde réaction est de jongler des objets moins usuellement jonglés, afin d'exploiter leur potentiel sonore, comme par exemple des barres métalliques creuses, à la place des massues sonnantes à chaque réception dans la main (3).

A l'observation de l'évolution de l'utilisation des bruits de rebond de balles, on constate qu'après la découverte d'un potentiel musical, les efforts sont faits pour accroître et maîtriser ce potentiel autant que le permet la réalité physique des objets manipulés. Ainsi l'impact de rebond génère d'abord un son indésirable, puis un son désiré et utilisé, jusqu'à un son « élaboré » via l'accord de la cavité sur laquelle est pratiquée le rebond. Ce dernier point est important. Il marque la volonté d'accéder à une possible sélection du son, sélection qui reste cependant limitée : on ne jonglera jamais avec des cloches de trois tonnes, même si d'entendre une cloche sonner à chaque réception ou rebond de balle pourrait servir le spectacle. On peut aussi regretter une autre limite importante : en effet si on peut espérer obtenir certains sons d'une massue maracas, les sons que l'on obtiendra ne seront que ceux que les massues peuvent produire dans des mouvements de jonglage exclusivement. Pour obtenir d'autres sons il faudra modifier le mouvement de jonglage, dans la limite du possible, et le maximum de variation possible pour un mouvement ne permet trop souvent pas la production du son espéré.

1.2 Nouvelles possibilités

Pour passer outre ces dernières limites évoquées, il faut rendre possible la production d'autres bruits, d'autres sons, qui soient directement déclenchés par le jonglage, comme s'ils étaient intrinsèquement le résultat du jonglage, mais choisis pour leurs caractéristiques propres, et non pas imposés par la réalité physique de l'objet manipulé et des possibles dans la manipulation. Néanmoins, préserver la relation de cause à effet, appréciée dans les bruits de jonglage, est primordial. Or, le principe sur lequel se construit cette relation consiste en l'utilisation pour la génération de sons, des mouvements que le jongleur utilise pour mettre les objets manipulés en mouvement, ou pour les garder immobiles. A la fonction de manipulation d'objet, de mise en mouvement d'objets, on doit donc adjoindre une fonction de génération sonore. Le mouvement de jonglerie et l'énergie qu'il nécessite, peuvent servir comme déclencheur et contrôleur de sons. Les technologies actuelles permettent d'extraire de gestes et de mouvements des informations sur ceux-ci, via des dispositifs de captation de mouvement. L'information obtenue par ces dispositifs pourra être utilisée pour la commande musicale (4).

1.3 Captation de mouvement et musique

La captation de mouvement compte de nombreux domaines d'application : biomécanique, télésurveillance, robotique, sécurité,... Côté pratiques artistiques, ce sont les danseurs qui ont le plus exploré l'idée de lier mouvement et musique (5)(6)(7)(8). Ils ont donc imaginé et réalisé à cet effet un grand nombre de dispositifs de captation de mouvement. Les travaux très exhaustifs de A.Mulder (9) et D.Roger (10), respectivement sur les dispositifs de captation de mouvement en général et sur ceux dévolus à la commande musicale en



particulier, proposent une revue complète des technologies utilisées. Les systèmes de captation de mouvement sont donc très nombreux, d'autant plus que chaque artiste ayant exprimé le besoin d'un tel dispositif, a pu proposer une solution technique adaptée à son problème. De plus, les informations obtenues par captation de mouvement une fois encodées en MIDI, les possibilités ne se limitent plus à la commande musicale : le langage Midi utilisé pour relier les instruments de musique électronique, est aisément traduisible en langage de commande pour tout autre dispositif, qu'il s'agisse d'éclairages, d'artifices, de vidéo, de machineries... Apparaissent alors des possibilités de mise en rapport direct de nombreux éléments, traités souvent isolément dans un spectacle de jonglage : il ne reste qu'à les exploiter.

2 Proposition d'interface

2.1 Principe

Les principaux systèmes de captation de mouvement existants ont une approche cinématique du mouvement : évaluation des déplacements, accélérations, vitesses... Le dispositif présenté ici se base sur une approche dynamique du mouvement : ce n'est pas le mouvement dans sa réalisation qui est évalué, mais les efforts à l'origine de ce mouvement. Ces derniers peuvent être évalués par l'enregistrement de l'Electromyogramme, ou EMG. L'EMG est l'enregistrement d'un signal électrique capté à la surface des muscles, résultant de la mise en activité des différentes cellules musculaires. L'origine de ce signal est telle qu'il est qualitativement lié aux forces produites par le muscle (11). Son exploitation en commande musicale n'est pas nouvelle, puisque les professeurs H.Lusted et B.Knapp (11) (12) de l'Université de Stanford, ont mis en œuvre un dispositif appelé *Biomuse*, utilisé actuellement par Atau Tanaka pour ses prestations scéniques personnelles (13), ainsi que celles qu'il assure au sein du Sensorband (14). Une autre utilisation de l'EMG liée à la musique a été proposée au MIT par T.Marrin (15). T.Marrin enregistre l'EMG ainsi que d'autres signaux physiologiques du chef d'orchestre, et exploite les relations entre ces signaux et les intentions musicales que le chef d'orchestre veut communiquer aux musiciens. Notre démarche diffère de ces deux approches : nous ne proposons pas un instrument pour lequel il faut se construire un ensemble de mouvements et gestes maîtrisés dévolus à son utilisation, comme c'est le cas pour le *Biomuse* ; nous ne nous intéressons pas non plus à des mouvements et gestes effectués dans un cadre musical comme c'est le cas pour T.Marrin ; notre démarche est de recycler des gestes experts effectués dans le cadre d'un art choisi, ici le jonglage, en geste de commande musicale.

2.2 Choix de l'EMG

La première motivation d'utilisation de l'EMG vient de ce que l'équipement de recueil de ce signal n'obstrue absolument pas le mouvement. L'articulation à laquelle on s'intéresse reste totalement libre, puisque les muscles qui en assurent le mouvement sont localisés en amont : pour exemple, dans le cas du poignet, les fléchisseurs et extenseur de cette articulation sont situés à proximité du coude sur l'avant bras. Ceci est très important dans le cadre du jonglage : le dispositif ne doit en effet pas encombrer les articulations des membres supérieurs.

Une seconde motivation repose sur la constatation suivante : la production d'un mouvement maîtrisé sollicite les muscles à son origine dans une chronologie invariante et optimisée. Cette chronologie s'affine et s'élabore avec l'apprentissage du mouvement (16). Ceci se révélera



particulièrement vrai pour le jonglage, et nous permettra une localisation temporelle précise des phases du mouvement. Cette chronologie optimisée n'empêche pas une certaine variation dans l'amplitude et le contenu du signal EMG, variation dont l'exploitation est souhaitable musicalement. L'EMG, signal physiologique, présente une richesse qui reste encore à interpréter.

2.3 Mise en œuvre du dispositif

La mise en œuvre de ce dispositif passe par diverses étapes. La première est l'analyse du geste considéré et le choix des muscles à observer. La seconde consiste en l'enregistrement de signaux EMG durant le jonglage pour finalement en proposer les traitements et le conditionnement Midi de l'information extraite de ces signaux.

2.3.1 Analyse du geste considéré :

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés au jonglage de balles, nous limitant même au jonglage à trois balles. Le mouvement de base dénommé cascade, consiste en des lancers alternés de chaque main. Aussi primaire soit elle, la cascade présente deux des huit actions élémentaires par lesquels Durant et Pavelack (17) proposent de décrire tout mouvement de jonglage : le lancer et l'amorti.

Durant la Cascade, on observe un mouvement de circumduction de l'avant bras. Par ailleurs, le rôle important de la main dans le lancer et l'amorti de la balle suggère une activité de maintien au niveau du poignet. Ces deux constatations nous ont guidé dans le choix des muscles à observer :

- muscles assurant cette circumduction, qui peut être décrite comme une composition de flexion et d'extension alternées de l'avant bras, en quadrature de phase avec des rotations externe et interne alternées du bras.
- muscles assurant le maintien du poignet, soit les fléchisseurs et extenseurs de celui-ci.

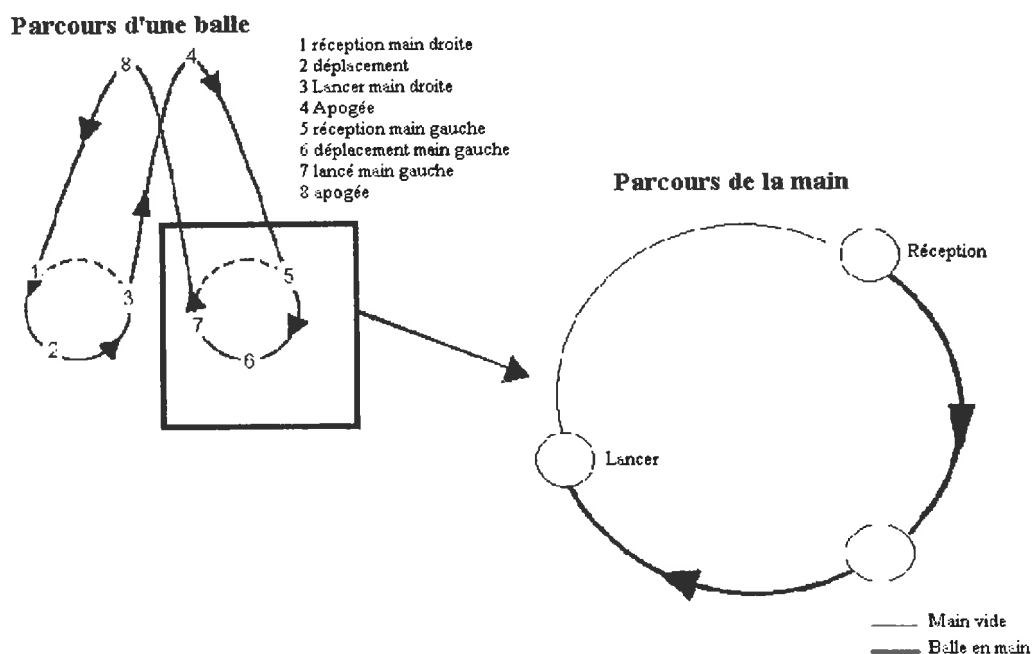


Figure 1 : Cascade à trois balles : Trajectoire de la balle et déplacement d'une main



Notre dispositif reposant sur le recueil de l'EMG de surface, notre choix de muscle s'est vu limité aux muscles affleurant directement sous la peau. Les muscles choisis sont donc :

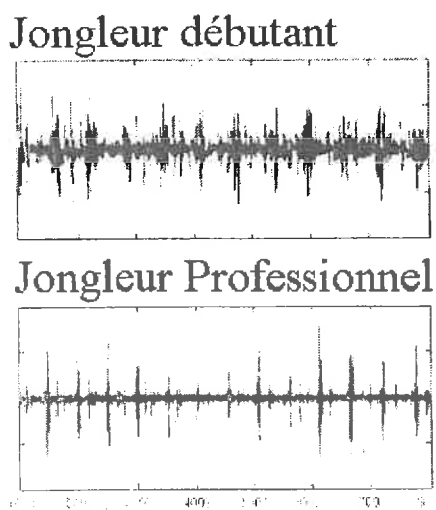
- Palmaris Longus (PL): grand palmaire fléchisseur du poignet
- Extensor Carpi Radialis Brevis (RB): extenseur court radial de la main, extenseur du poignet
- Biceps Brachii (BB) : biceps, fléchisseur du coude
- Triceps Brachii (TB): triceps, extenseur du coude
- Pectoralis Major (PM): grand pectoral, rotateur interne du bras
- Teres minor (TR): petit rond, rotateur externe du bras

L'équipement matériel nous limitant à l'observation simultanée de 4 EMG, nous nous sommes, dans un premier temps, intéressés à l'observation des PL, RB, BB et TB, ou de deux de ces muscles pour les deux bras simultanément.

2.3.2 Enregistrements

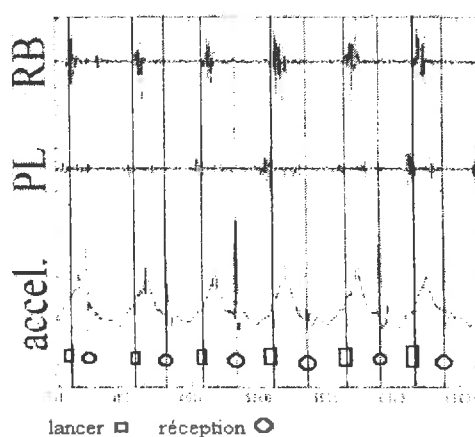
Nous avons pu effectuer des enregistrements des EMG de TB, BB, RB et PL chez des jongleurs ayant une pratique amateur ou professionnelle. La comparaison des enregistrements effectués chez les uns et les autres confirme la clarification de la chronologie des EMG avec l'apprentissage du mouvement (Figure 2), confirmant nos motivations pour l'utilisation de l'EMG (Cf. 2.2). Une première observation de l'ensemble des signaux nous a invité à nous focaliser sur l'observation des RB et PL, révélant une activité ponctuelle chronologiquement corrélée aux mouvements du jonglage. Des enregistrements supplémentaires avec utilisation simultanée de divers capteurs nous ont permis de localiser les activités ponctuelles du RB au moment du lancer (Figure 3). La détection de ces activités permettrait donc aisément la synchronisation d'un événement sonore et d'un lancer.

Figure 2 : effet de l'entraînement



EMG du PL chez un jongleur amateur débutant et chez un jongleur professionnel lors de la cascade à trois balles.

Figure 3 :



Deux dispositifs, faisant pour l'un appel à un accéléromètre, pour l'autre à un capteur à effet Hall et à un aimant placé dans une balle nous ont permis de localiser la réception et le lancer de la balle relativement aux bouffées d'activité des RB et PL.



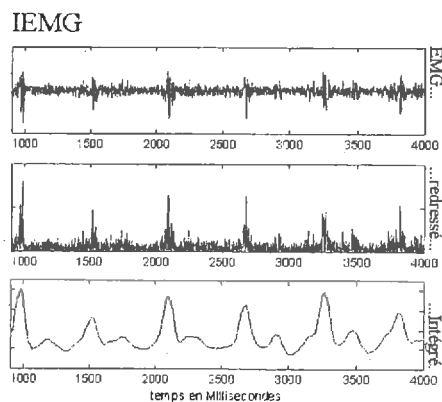
2.3.3 Traitements proposés

Deux traitements avant conditionnement Midi se sont imposés : l'EMG intégré ou IEMG, et la détection de pic d'activité.

L'IEMG nous donne une information continue, estimation de l'énergie du signal. L'IEMG peut être facilement utilisé comme contrôle continu. Nous le conditionnerons en Midi comme un contrôleur continu. Atau Tanaka en suggère l'utilisation pour le contrôle de l'évolution de paramètres de timbre (18). Son calcul est différent s'il est évalué en analogique ou en numérique. Ayant à l'utiliser dans ces deux cas, nous effectuons en fait un redressement d'une moyenne quadratique (RMS) sur une période fixe, en analogique, et un redressement suivi d'une moyenne des N derniers échantillons, en numérique (19) (Figure 4).

La détection de pic effectuée sur cet IEMG nous donne une information discrète, qui dans le cas du RB, nous permettra de synchroniser un événement sonore au lancer. Nous le conditionnerons d'ailleurs en Midi comme note on/off. Nous l'effectuons actuellement sur l'IEMG évalué analogiquement. Nos premiers essais se basant sur un seuil fixe ont révélé une grande variabilité dans les résultats, les pics d'activité montrant, selon les jongleurs, une grande variation dans leur amplitude. Ceci nous a poussé à mettre au point un principe de seuillage avec seuil actualisé dynamiquement, plus performant pour l'ensemble des jongleurs, mais plus complexe à mettre en œuvre en temps réel (Figure 5).

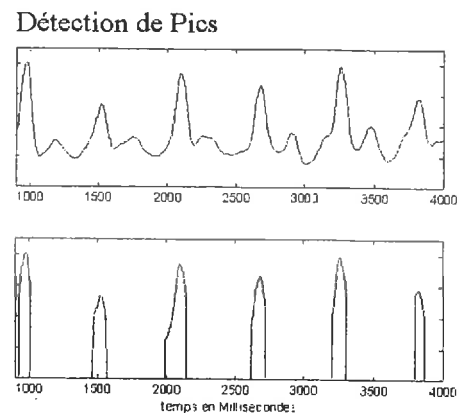
Figure 4



IEMG :

Les étapes du traitement de l'EMG pour obtention de l'IEMG sont présentées ici pour un signal recueilli sur le RB.

Figure 5



Détection de Pics : Résultats de la détection de pics avec actualisation dynamique de seuil pour ce même signal.

2.4 Configuration matériel

Les EMG sont captés par des électrodes posées par paire à la surface des muscles considérés. La pose des électrodes nécessite la préparation de la peau afin d'en réduire la résistance électrique. Nous utilisons un système de télémétrie réalisé par John+Reilhofer assurant l'acquisition et la transmission HF de quatre EMG.

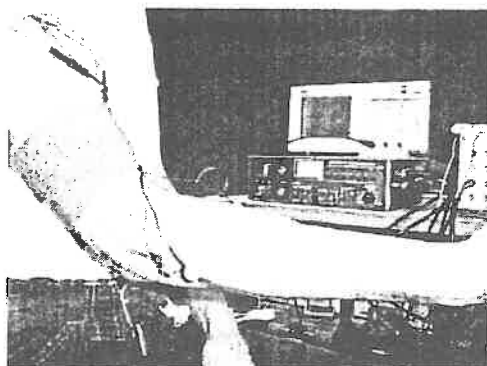


Figure 6 : Electrodes posées sur le RB. Le récepteur du système de télémétrie est partiellement visible à droite.

Le dispositif actuellement réalisé procède ensuite au calcul analogique de l'IEMG à partir des EMG. Ces IEMG font ensuite l'objet d'une conversion numérique à une fréquence d'échantillonnage de 200Hz. Nous effectuons le conditionnement des signaux IEMG en un contrôleur continu Midi pour chacun des quatre IEMG. Lors de la détection d'un pic d'activité, nous envoyons un signal « note on » sur une note choisie pour chaque EMG considéré.

Un dispositif plus performant est en cours de réalisation. Les EMG font directement l'objet d'une conversion analogique/numérique à une fréquence d'échantillonnage de 2000 Hz. Le calcul numérique des IEMG, leur conditionnement en Midi, ainsi que la détection des pics d'activité, via un principe de seuillage dynamique, font l'objet d'une programmation sous HpVee.

3 Conclusion et perspectives

Nos travaux nous ont donc amenés à une analyse des phases des mouvements durant le jonglage de balle, au recueil d'EMG de muscles choisis en fonction de cette dernière analyse, et à proposer un premier dispositif. Ce dernier procède au calcul de l'IEMG, et à son conditionnement comme contrôleur Midi continu, ainsi qu'à la détection de pics sur ces IEMG, dont le résultat est conditionné en signal note on/off, permettant en particulier la synchronisation d'événements sonores avec les lancers de balles.

La réalisation de ce dispositif trouve sa motivation dans l'exploration des interactions possibles entre musique et jonglage. Les choix technologiques, nos options de travail, réduisent cependant la portée de nos résultats : le jonglage de massue ne sollicitera assurément pas les muscles choisis ici de la même façon que le jonglage de balle, d'autres muscles s'avèreront peut être alors plus intéressants à l'observation. Nos premières observations des muscles rotateurs externe et interne du bras sont dans ce sens prometteuses. Par ailleurs, nous explorerons prochainement à l'occasion d'une semaine de travail au STEIM, l'utilisation d'autres capteurs dans le cadre d'autres disciplines de jonglage telles que le swinging, le diabolo, ou le rebond de balle.

D'un point de vu matériel, le dispositif en est actuellement à sa première réalisation, dont les limitations sont évidentes. Nos compétences nous ont invité à utiliser, dans un premier temps, des outils peu adaptés, mais la conception d'un dispositif complet des capteurs au conditionnement Midi apparaît réalisable. C'est l'objectif fixé pour le dispositif en projet. L'utilisation de convertisseur signal analogique/Midi comme l'Atomic (20), le Sensorlab (22) ou encore l'I-cube (21) est également envisageable.

Du point de vue des traitements possibles de l'EMG, nous nous tournons actuellement vers les outils d'analyse temps fréquence (23) avec l'espoir d'extraire de l'EMG des informations sur la dynamique des lancers. A partir de ces informations, nous espérons classer les lancers en fonction de leur hauteur : l'historique des lancers et de leur hauteur peut



permettre de déduire la figure en cours de réalisation. Il serait alors possible d'affecter à chaque figure des paramètres musicaux propres, donnant ainsi au jongleur un moyen supplémentaire de sélection de sa musique.

Remerciements

L'auteur tient à remercier Catherine Marque, Frédéric Pradal et Hélène Willier pour leurs suggestions et commentaires.

Références

- (1) Chant de balles, Vincent De Lavenere <http://www.chantdeballes.com/contact.html>
- (2) Kabbal <http://www.lefourneau.com/creations/00/kabbal/kabbal.html>
- (3) Jörg Müller <http://perso.infonie.fr/ezec/Ezec/ebase.htm>
- (4) T. Winkler, "Making motion musical: Gestural mapping strategies for interactive computer music." in Proc. Int. Computer Music Conf. (ICMC'95). 261-264. (1995)
- (5) Siegel, W. "The Challenges of Interactive Dance - an overview and case study." Computer Music Journal 22(4). <http://www.daimi.au.dk/~diem/dance.html> (1998)
- (6) T. Winkler, "Motion-sensing music: Artistic and technical challenges in two works for dance." in Proc. Int. Computer Music Conf. (ICMC'98). 471-474. (1998)
- (7) Dancetech <http://art.net/~dtz/>
- (8) Bodysynth <http://www.synthzone.com/bsynth.html>
- (9) Mulder, A. Human movement tracking technology, Tech. Rep., Simon Fraser University, school of kinesiology. (1994)
- (10) Roger, D. Motion Capture in Music: Research <http://farben.latrobe.edu.au/motion/> (1998)
- (11) DeLuca, C. J. "The use of Electromyography in biomechanics." J. Applied Biomechanics 13: 135-163. (1997).
- (11) Lusted, H. S. and B. Knapp. Controlling computers with neural signals. Scientific American. <http://www.sciam.com/1096issue/1096lusted.html> (1996)
- (12) Putnam, B. The use of the electromyogram for the control of musical performance. Ph.D. Dissertation, Stanford University. (1993)
- (13) A. Tanaka, "Musical Technical Issues in Using Interactive Instrument Technology with Application to the Biomuse," in Proc. Int. Computer Music Conf. (ICMC'93). 124-126. (1993).
- (14) Bongers, B. "An interview with Sensorband." Computer Music Journal 22(1): 13-24. (1998)
- (15) Marrin, T. and R. Picard. A methodology for mapping gestures to music using physiological signals. Presented at the International Computer Music Conference, Ann Arbor, Michigan. (1998)
- (16) Brénière Y. , L. Gatti et M.C. DO Description biomécanique de l'arraché à deux bras, présenté au Cogress of the society of Biomechanics. Lille. (1979)
- (17) Durand, F. and T. Pavelack. Le psychojonglage, le livre de la jingle_. Toulouse. (1999)
- (18) Tanaka, A. Musical performance practice based on sensor-based instruments. Trends in gestural Control of Music. I.-C. Pempidou. Paris. IRCAM-Centre Pompidou. (2000)
- (19) Duchêne, J. and F. Goubel "Surface Electromyogram during voluntary contraction : Processing Tools and Relation to physiological events." Critical Reviews in Biomed. Eng. 21(4): 313-397. (1993)
- (20) <http://www.ircam.fr/produits/technologies/atomic/Atomic.html>
- (21) <http://www.infusionsystems.com/>
- (22) <http://www.steim.nl/products.html>
- (23) Karlson , S. J. YU and M. Akay . Time-Frequency analysis of myoelectric signals during dynamic contractions: A comparative study. IEEE Transaction on Biomedical Engineering. 47(2): 228-237.(2000)