

Improvisation et réinjection stylistiques

Gérard Assayag, Ircam, UMR Stms
Georges Bloch, Université Strasbourg II
Marc Chemillier, Université de Caen

L'équipe représentations musicales à l'Ircam, en collaboration avec Marc Chemillier, Shlomo Dubnov et Georges Bloch, s'intéresse depuis longtemps à la simulation stylistique. On entend par là tout approche formalisée permettant d'analyser une séquence musicale et d'en tirer un modèle qui captera certains traits relatifs au style.

Par exemple, le modèle LZ/IP [5], inspiré de la théorie de la compression de données, nous a permis d'analyser un corpus d'œuvres du XVIème au XXème siècle, d'en construire des modèles à partir desquels il était possible de calculer des distances, et d'en proposer des regroupements (clustering) respectant les ensembles stylistiques communément admis. L'intérêt de l'expérience résidait dans le fait que l'approche était agnostique, c'est-à-dire qu'aucune connaissance musicale n'était injectée, et par conséquent c'est bien la capacité d'un algorithme de modélisation statistique à capter des propriétés stylistiques de surface des séquences musicales qui était testée. Ce test étant établi, cet algorithme fut utilisé en génération pour proposer des nouvelles séquences musicales après apprentissage auprès de musiciens. Le saxophoniste Jean-Rémy Guédon se servit de ce système pour deux pièces :

« Mini x », pour 6 musiciens, créé le 6 juin 1999 à l'Ircam, et « HYPEN » pour l'Orchestre national de jazz (créé le 30 juin 2000 à la Cité de la Musique). Il y créait des séquences faussement improvisées, écrites par l'ordinateur après apprentissage de son propre style selon le modèle LZ/IP. Les prémices du concept de réinjection stylistique étaient déjà présentes, mises en œuvre, cependant, dans le temps dilaté de la composition.

Nous avons expérimenté avec d'autres modèles, dont le plus récent est lié à un algorithme issu des

recherches en *pattern matching* et nommé l'Oracle des facteurs [1]. Tous ces modèles entrent dans la famille des modélisations statistiques, et plus précisément dans le groupe des modèles de type contexte-inférence. Cela signifie qu'ils cherchent dans les données analysées des contextes, c'est-à-dire des sous-séquences caractéristiques, les organisent en une représentation compacte qui constitue une sorte d'abstraction des données littérales, et établissent enfin les règles d'inférence sur ces contextes, à savoir les prédictions qu'il est possible de faire sur leurs continuations.

L'objectif visé par toutes ces études était d'utiliser la simulation stylistique dans un cadre de composition ou d'improvisation, comme une machine générative qui puiserait ses matériaux dans des musiques existantes ou dans le jeu vivant d'un improvisateur. Les séquences engendrées sont des recombinaisons de patterns appris, selon les règles d'inférence induites. L'hypothèse sous-jacente pose que si les matériaux appris sont assez vastes, la recombinaison devient un vrai moyen d'invention, d'une part, et qu'elles ressortent d'un style d'autre part. Il y a donc *réinjection* d'un certain passé, mais réinjection altérée et porteuse d'invention, de la même façon que le souvenir n'est jamais sûr, ou bien, corollairement, qu'une idée prétendument nouvelle n'est quelquefois qu'un souvenir masqué.

Que l'on soit dans l'isolement du cabinet de travail pour le compositeur ou bien dans le feu de l'improvisation publique, on est bien là dans un processus *de feed-back*. En effet, tout ce qui a été composé à un moment donné ou produit dans le flux de l'improvisation, est susceptible d'être réinjecté, avec un délai variable, dans le processus actuel de production musicale. Ce n'est pas un feed-back naïf car le matériau ainsi ressurgi a subi des transfor-

mations. Ces transformations sont supposées — si les modèles d'apprentissage fonctionnent bien — garder constantes certains facteurs stylistiques. On parlera alors de réinjection stylistique.

Diverses expériences de réinjection stylistique ont été menées en composition et en improvisation, mais avant d'en parler nous allons décrire brièvement le système le plus récemment développé : OMAX.

OMAX tient son nom de deux environnements bien connus en informatique musicale : OpenMusic (Assayag & Agon) et MaxMsp (Puckette & Zicarelli). L'idée qui nous a dirigés est qu'à ce stade des recherches en apprentissage stylistique, stade qui nous semble précoce, il serait erroné de figer les résultats en une application fermée. Nous souhaitons mettre sur pied un environnement véritablement ouvert et expérimental qui serait susceptible, d'une part, d'être modifié à très faible coût (voire pendant l'expérimentation même) et, d'autre part, d'être connecté facilement à toutes sortes de traitements symboliques ou numériques disponibles dans les très nombreuses bibliothèques de ces deux environnements.

Les différents niveaux de traitement sont répartis entre les deux environnements qui communiquent par des canaux inter-application bidirectionnels. Cette répartition suit une logique d'échelles temporelles inspirées de données cognitives. Dans une situation experte d'improvisation, plusieurs échelles temporelles, correspondant à différents processus mémoriels et à plusieurs niveaux de la structure musicale, sont en effet convoquées.

Du point de vue des neurosciences, la mémoire est décrite comme une architecture à trois niveaux : la mémoire sensorielle, qui ne nécessite pas d'attention et stocke des données brutes de la perception pendant quelques dizaines de millisecondes, la mémoire à court terme (ou mémoire de travail), dans laquelle les informations issues de l'étage précédent peuvent être renforcées par réactivation pour quelques dizaines de secondes, et la mémoire à long terme. Cette dernière se scinde à son tour en mémoire explicite (ou déclarative), qui peut être verbalisée, et évoque des données épisodiques ou sémantiques, et mémoire implicite (non déclarative). Cette dernière regroupe les capacités procédurales (« skill » pour les anglo-saxons, soit la

capacité à convoquer des comportements moteurs très complexes comme ceux du musicien en action) et les réflexes conditionnés.

L'improvisateur constitue un cas d'école pour l'étude de la mémoire : tous les événements musicaux produits autour de lui stimulent en permanence sa mémoire sensorielle. Il en renforce certains, qui ont éveillé son attention, dans la mémoire à court terme. À ce stade, il peut déjà répondre de manière presque réflexe et dans une quasi instantanéité. Les événements importants de la session (aussi bien entendus que produits) s'organisent en structures dans la mémoire à long terme, et y rejoignent une mémoire du répertoire bien plus vaste et ancienne. En y puisant, et en faisant jouer des mécanismes de recombinaison et d'innovation, l'improvisateur est capable de construire un plan d'improvisation [4] dont l'empan temporel peut être de plusieurs minutes.

Omax n'a pas vocation à proposer une modélisation de la mémoire selon les connaissances issues des neurosciences et de la psychologie expérimentale. Cependant, pour des raisons essentiellement pratiques, la distribution fonctionnelle de ses modules à travers deux environnements spécialisés évoque plusieurs aspects de ces connaissances.

Ainsi, Max, un logiciel extrêmement performant pour le traitement temps réel joue-t-il le rôle de la mémoire sensorielle et de la mémoire de travail. Il capte tout ce que produisent les instrumentistes, en renforce les traits saillants par un travail de quantification (en particulier dans la version Ofon de Omax, cf. plus bas), et les agrège en paquets de dimension réduite, qu'il transmet alors à OpenMusic. Ce dernier représente évidemment dans notre comparaison schématique la mémoire à long terme. Les travaux en neurosciences ont montré que le passage à la mémoire à long terme était facilité (voire nécessitait) une sémantisation des données, c'est-à-dire leur organisation selon un modèle de connaissances les mettant notamment en relation avec d'autres connaissances stockées de longue date. C'est ce qui se passe dans l'oracle, confié à OpenMusic : les paquets d'information musicale brute (techniquement des séquences Midi) entrent dans le processus d'apprentissage statistique où ils sont mises en relation avec les données précédemment acquises, et *compressés* dans le sens ou une représentation plus *abstraite* en

est dérivée. La notion de « données » précédentes dépend du cadre expérimental. Si l'oracle est vide au début de la session, elles sont constituées par la modélisation de toute la musique jouée depuis le début jusqu'au temps courant. Si des oracles d'archive ont été chargés dans OpenMusic (ces oracles pouvant modéliser des sessions similaires, mais aussi des pièces du répertoire, et la compacité des représentations utilisées permet d'envisager des corpus très vastes) alors la mémoire à long terme porte vraiment sur des décennies d'expérience musicale.

Du point de vue de l'action, Max peut réagir à court terme par des traitements instantanés, ou bien activer, par des requêtes envoyées à OpenMusic, des productions plus ambitieuses à la fois en longueur et en degré d'organisation. OpenMusic interroge alors l'oracle et renvoie une séquence à Max. Ce dernier est chargé de trouver les ressources pour « jouer » la séquence. C'est là une entorse au modèle de mémoire, puisque la mémoire procédurale est une mémoire à long terme, mais notre propos, une fois de plus n'est pas une modélisation exacte de la mémoire.

Nous ne détaillons pas ici l'algorithme d'apprentissage statistique selon un modèle contexte-inférence basé sur l'Oracle des facteurs. Des informations utiles pourront être trouvées dans [2] et [6].

Du point de vue de l'architecture générale d'Omax, un certain nombre de modules se trouvent répartis entre OpenMusic et Max. Nous donnons ici l'architecture idéale, à laquelle nous dérogeons quelquefois dans l'implémentation pratique pour des raisons technologiques :

Du côté de chez OpenMusic :

1. Un module expert de traitement de la polyphonie qui transforme les séquences Midi brutes en séquences d'unités polyphoniques élémentaires
 2. Un module expert en harmonie capable de coller des labels harmoniques aux unités polyphoniques, et d'opérer certaines transformations harmoniques sur les séquences engendrées [3]
 3. Un module d'apprentissage qui implémente l'algorithme de l'Oracle
 4. Un module de communication qui gère les échanges de données et de contrôle avec Max.
- Du côté de chez Max :
1. Un module de captation Midi (Omax) ou audio (Ofon)
 2. Un module de renforcement qui constitue des séquences en fonction notamment de frontières de phrases et de frontières de beat dans le cas où une métrique serait imposée.
 3. Un séquenceur Midi interactif qui peut recevoir et jouer des improvisations envoyées par OpenMusic
 4. Un module d'extraction de pitch à partir d'un signal audio (Ofon)
 5. Un module d'enregistrement audio (Ofon)
 6. Un module de montage audio temps réel (Ofon)
 7. Un module de communication qui gère les échanges de données et de contrôle avec OpenMusic.

Le système OMAX a été expérimenté dans le cadre de deux expériences principales : avec le musicien multi instrumentiste Bernard Lubat, dans sa formation d'improvisation « Le Lubathyscaphe-K », et dans le cadre des improvisations composées de Georges Bloch avec le saxophoniste Philippe Leclerc. Pour ce qui concerne ces derniers, c'est Ofon, la version audio (voire vidéo) de Omax qui a été utilisée. Cette version est décrite plus bas.

Le Lubathyscaphe-K est une configuration d'improvisation conçue comme une descente dans l'obscurité des abysses. La formation, comptant de 4 à 7 musiciens, joue en effet dans le noir complet, à l'exception d'événements lumineux ou visuels. Les musiciens appartiennent à la compagnie Lubat, augmentée de deux performers-informaticiens utilisant OMAX (G. Assayag et M. Chemillier) et d'Yves Chaudouët, plasticien chargé des visuels. La musique est totalement improvisée. Le noir implique qu'il est difficile de savoir qui joue quoi. Le rôle de l'informatique est de capter des séquences musicales live et de proposer à des moments choisis des restitutions transformées de ces séquences. De plus Omax peut activer des Oracles archivés contenant des représentations modélisées de Lubathyscaphes antérieurs, de sessions de travail individuel avec Bernard Lubat, voire de corpus musicaux extérieurs. L'ambiguïté créée par le noir,

et la convocation de mémoires musicales à différentes échelles de temps, est susceptible de créer des situations musicales inédites. Cette ambiguïté ne vaut pas que pour le public, en effet, un performer peut construire une improvisation en croyant dialoguer avec un autre performer, alors que c'est en réalité la machine qu'il joue.

Dans cette configuration il peut se produire que Lubat improvise avec un double de lui-même représentant un de ses états passés, cette improvisation pouvant elle-même être réinjectée et « recomposée » plus tard. On est donc bien là dans une situation de « feed-back », au sens de réinjection, dans le processus complexe de l'improvisation collective, d'un output passé qui vient en réalimenter les entrées.

L'originalité de cette « réinjection stylistique » tient à deux facteurs. D'une part, la profondeur du passé susceptible d'être rappelé dans la boucle est illimitée au sens où l'apprentissage peut porter sur la seconde écoulée aussi bien que sur des répertoires anciens. D'autre part, ce feed-back ne porte pas seulement sur un signal, mais sur des structures symboliques de haut niveau, autorisant des transformations musicales élaborées, et cohérentes sur le plan stylistique. La métaphore du Lubathyscaphe-K est aussi celle d'une plongée dans l'inconscient. Les bribes de mémoire réinjectées dans le processus peuvent jouer le rôle de reminiscences sensorielles ou explicites, susceptibles d'initier chez les musiciens un état émotionnel particulier et éventuellement une nouvelle proposition musicale.

De ce fait les performances particulières du Lubathyscaphe-K ne constituent pas des événements isolés, mais prennent place dans un réseau comprenant non seulement les événements publics, les sessions de répétitions et de travail, mais aussi plus largement des fragments de l'histoire et des connaissances musicales. Dans ce réseau complexe, des processus de réinjection diversifiés en portée temporelle et en richesse structurale tissent des relations mémorielles et disposent le moment particulier du concert dans une perspective nouvelle.

Le système Ofon est l'extension de Omax au monde acoustique. Le principe en est simple : un détecteur de hauteurs extrait les données de hauteur, d'intensité et de durée à partir du signal



FIG. 1 – Illustration de Martin Lartigues pour le Lubathyscaphe-K

acoustique qui est lui-même enregistré à la volée dans un fichier ou dans un tampon en mémoire.

Des étiquettes de dates correspondant aux débuts d'événements dans le fichier sont associées aux événements Midi reconstitués par le détecteur de hauteurs et le tout est envoyé à OpenMusic, de sorte que les symboles appris par l'Oracle contiennent une référence vers le fichier son. Quand OM se livre à la reconstruction d'une improvisation en interrogeant l'oracle, il renvoie à Max une séquence d'événements Midi associés à une date dans le fichier son. Un module de montage audio en temps réel est activé dans Max pour réassembler les fragments sonores situés à ces dates. Ainsi l'apprentissage prend sa source dans un signal audio et résulte finalement en une séquence audio reconstruite avec le même timbre instrumental.

Plusieurs improvisations virtuelles peuvent être engendrées en parallèle, par conséquent il est possible de créer plusieurs "clones" de l'instrumentiste live, représentant des images musicales déformées puisées dans son passé récent et réinjectées comme autant de propositions musicales, éventuellement polyphoniques. Cela induit une situation d'interaction inédite de réinjection symbolique dans laquelle des fragments du passé — qui peut éventuellement déborder la performance actuelle et puiser dans des archives de performances antérieures ainsi qu'il a été dit — sont étiquetés symboliquement, ce qui en permet une analyse de haut niveau et par conséquent une recombinaison musicalement significative qui ne pourrait être produite avec le seul traitement du signal. Ces

réinjections altérées du passé deviennent autant d'incitations pour l'improvisateur humain : incitation à construire un discours polyphonique de plus en plus dense, incitation à changer ses hypothèses d'improvisateur en fonction des patterns nouveaux que jouent ses clones à partir de ses propres matériaux. Cela change radicalement la situation classique d'improvisation dans laquelle le musicien réagit au jeu de ses pairs, et ne s'apparente pas pour autant à l'improvisation jouée par-dessus un enregistrement ou un mixage temps réel de matériaux audio. En effet il y a là quelque chose comme une "connaissance" (fût-elle pour l'instant assez élémentaire) extraite du jeu humain et mise à profit pour construire une *structure* musicale précédant à la fois du musicien et de ses fantômes.

Techniquement il y a trois problèmes à résoudre pour faire fonctionner Ofon : une extraction fiable de la hauteur ; un montage temps réel de fragments sonores, une diffusion des clones qui soutienne la comparaison avec l'instrument réel.

L'extraction de hauteurs est un problème compliqué en particulier s'agissant d'un jeu instrumental qui n'est pas limité au son "propre" appris au conservatoire. Pour envisager des expériences riches, il faut pouvoir traiter des modes de jeux contemporains (par exemple multiphoniques, souffles, bruits de clefs pour les instruments à vent). La voix par exemple possède un registre de possibilités timbrales et dynamiques qui débordent largement les facultés des algorithmes existants. Cependant il faut encore préciser ce que signifie "fiable" dans le contexte expérimental qui est le nôtre. Des erreurs de détection de hauteur peuvent se produire sur les sons complexes. Ce n'est pas si grave à partir du moment où ces erreurs se produisent de manière cohérente sur des événements similaires. Par exemple il n'est pas très grave que l'extracteur identifie un Do pour un multiphonique donné, même si ce n'est pas vraiment la hauteur dominante, s'il identifie toujours un Do pour d'autres instances de ce multiphonique. En effet, le son joué in fine sera un extrait de l'enregistrement audio correspondant à l'un de ces multiphoniques. Le Do dans notre exemple n'est finalement qu'un label permettant le repérage des récurrences et le fonctionnement du modèle statistique. Il faut donc et il suffit que l'extracteur se trompe *avec constance*. Le problème des notes ajoutées par l'extracteur est

beaucoup plus épineux. Ces erreurs se produiront généralement pendant les transitoires d'attaque, et spécialement pour la voix, les cordes frottées, les instruments à anche. Nous avons utilisé un détecteur de hauteurs inventé par Alain de Cheveigné (Yin) qui possède au départ une grande robustesse et délivre, en plus de l'hypothèse de hauteur, un coefficient de qualité. Une valeur très basse pour ce coefficient indique une instabilité dans le son qui empêche la détection. Ce coefficient sera utilisé pour détecter les frontières de notes (note-off) et pour valider les hypothèses de hauteur selon une procédure statistique. Chaque nouvelle hauteur engendrée par le détecteur ouvre une fenêtre d'analyse (par exemple de 60 ms). À l'intérieur de cette fenêtre, les nouvelles hauteurs détectées sont comparées à la hauteur originale et la renforcent ou l'infirmement. Si plus de 50% des hauteurs renforcent la hauteur de référence, celle-ci est validée au point de début de la fenêtre et un note-on est engendré. Une fenêtre plus importante est nécessaire pour neutraliser l'effet de vibrato. Ce procédé permet aussi de détecter aisément la frontière entre notes jouées legato. Le procédé induit un délai de traitement constant qui ne pose pas de difficultés et délivre des dates d'événements tout à fait pertinentes.

Le problème de la diffusion est principalement lié à la coexistence d'instruments live et de haut-parleurs. C'est une question bien connue des acousticiens : le diagramme de directivité d'un instrument varie selon, notamment, le registre et l'intensité. Nous avons donc utilisé pour la diffusion des "clones" un système appelé "La Timée" mis au point par l'équipe d'Olivier Warusfel à l'Ircam. Ce système est un cluster de haut-parleurs à directivité variable et contrôlable par ordinateur. Il est alors possible d'exploiter les informations de hauteurs et d'intensité délivrées par le détecteur de hauteur, ainsi que les connaissances acoustiques au sujet de l'instrument live, comme paramètres de contrôle de la Timée et d'obtenir un rendu dynamique et crédible des séquences jouées par les clones.

Les expériences ont été menées avec Philippe Clerc, saxophoniste, pour une pièce d'improvisation "composée" de Georges Bloch, et avec Tracy Mc Mullen à San Diego. Des expériences sur la voix parlée sont aussi en cours avec les acteurs en formation du Théâtre National de Strasbourg et le

metteur en scène Jean-François Peyret.

Les perspectives ouvertes par ce concept de réinjection stylistique dans le domaine Midi, d'abord, puis audio, nous ont incité à l'étendre du côté de l'image, de manière à obtenir un clonage "audiovisuel" susceptible d'étendre le champ expérimental à d'autres modalités perceptives.

Il serait cependant difficile, dans l'état actuel des modèles statistiques de faire sur l'image ce que nous faisons sur le son musical. Néanmoins, si l'on se restreint à des séquences audiovisuelles à caractère musical, on peut remarquer que le découpage temporel est le même pour le son et l'image. Ainsi il est imaginable de faire l'apprentissage des séquences *par la musique* et de restituer les séquences inventées par un enchaînement *audiovisuel* crédible. Ainsi, ce sont les séquences filmées qui seront enregistrées en temps réel sur fichier. Ces séquences seront référencées par des étiquettes de dates correspondant aux événements musicaux identifiés. Les recombinaisons du modèle statistique résulteront en des séquences de dates permettant un re-montage en temps réel de l'image et du son. Pour clarifier cette idée, imaginons un film de Thelonious Monk jouant du piano. Ofon-vidéo peut en faire l'apprentissage, puis proposer une improvisation alternative. Cette improvisation alternative sera à la fois entendue et vue, les enchaînements musicaux inédits joués par le Fantôme de Monk correspondant à des enchaînements cohérents à l'image.

La réalisation d'Ofon-vidéo implique une certaine puissance de calcul : actuellement, un ordinateur est entièrement dédié au traitement de l'image, un autre à la partie Omax. Une régie vidéo permet d'alterner les clones audiovisuels et des images d'archive de manière à enrichir la situation de scène par des décalages image-son, qui, d'après le procédé expliqué plus haut, ne peuvent se produire seules.

Le régisseur d'image possède cinq "mémoires" d'improvisation qu'il peut remplir à tout moment avec une improvisation virtuelle demandée à Omax, et qu'il peut déclencher à tout moment, en mode son-image, son seulement ou image seulement, ainsi qu'en mode loop. Grâce à cette palette, il contrôle la distribution des réminiscences altérées du passé dans le présent de la performance, leur complexité et leur densité. Il peut disposer

pour cela de matériel audiovisuel "appris" avant la performance (e.g. la vidéo de Monk), ainsi que de matériel filmé et enregistré en temps réel pendant la performance, et ainsi étendre le domaine de réinjection à un passé qui s'étend largement au-delà du passé immédiat et implique d'autres protagonistes.

Dans l'expérience évoquée ici, et qui a été menée par Georges Bloch avec Philippe Leclerc et les étudiants en cinéma de l'Université de Strasbourg, le musicien actuel (P. Leclerc) peut :

- jouer seul
- jouer avec la vidéo de Monk, en ciselant un contrepoint improvisé avec l'improvisation de Monk.

- Jouer (ou faire silence) pendant que la vidéo est recombinaisonnée en une improvisation inédite de Monk

Pendant ce temps, toute la scène est filmée et enregistrée, et apprise en temps réel dans un nouvel Oracle. De nouvelles combinaisons sont alors possibles :

- P. Leclerc peut improviser sur un fond d'images et de sons constitués de lui-même improvisant, à un moment du passé dans une des trois configurations ci-dessus.

- Idem, mais sur un passé altéré, improvisé par l'oracle, ce qui signifie que l'image livre des séquences inédites du couple Leclerc-Monk

Il est évident qu'on entre là dans la boucle de feedback classique évoquant les premières expériences de vidéo art avec une caméra reliée à un écran vidéo et lui faisant face. Et c'est bien ce qui se passe : à certains moments se forme un véritable contrepoint à quatre ou cinq voix de Leclerc improvisant sur une improvisation réelle passée, elle-même s'étant produite sur une improvisation virtuelle générée par l'oracle et impliquant (visuellement aussi bien) Leclerc et Monk, etc.

Ofon-Vidéo a été mis au point en collaboration avec les étudiants de l'Université de Strasbourg II : Anne-Sophie Joubert, Vincent Robischung et Émilie Rossez.

Complexe à mettre en jeu, cette expérience s'est pour l'instant limitée à un instrumentiste. On peut se demander quel genre d'enrichissement apporterait une configuration orchestrale. A supposer que la qualité sonore soit suffisante, une certaine ambiguïté temporelle s'installerait. Ce trait auquel je réagis, vient-il d'être produit par un de mes



FIG. 2 – Philippe Leclerc, ses maîtres et ses clones.

co-instrumentistes ? vient-il du passé réel et est-il transformé par ma mémoire ? vient-il d'un passé virtuel recréé par l'oracle ? si l'oreille de l'improvisateur est entraînée à capter des patterns issus de l'ensemble des instrumentistes, à les recomposer en une figure synthétique qui peut lui servir de référent, qu'en est-il si un protagoniste numérique prend tout à coup ce rôle et restitue cette figure déformée ? Les perspectives deviennent vertigineuses. On aboutirait, loin des utilisations naïves et stéréotypées du feed-back, à une véritable diffraction du temps musical, pouvant ressortir de structures à la fois très composées et imprédictibles, disposant un paysage paradoxal et troublant pour l'improvisateur.

Références

- [1] Cyril Allauzen, Maxime Crochemore, and Mathieu Raffinot. Factor oracle : A new structure for pattern matching. In *SOFSEM '99 : Proceedings of the 26th Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics on Theory and Practice of Informatics*, pages 295–310, London, UK, 1999. Springer-Verlag.
- [2] G. Assayag and S. Dubnov. Using factor oracles for machine improvisation. *Soft Comput.*, 8(9) :604–610, 2004.
- [3] M. Chemillier. Toward a formal study of jazz chord sequences generated by steedman's grammar. *Soft Comput.*, 8(9) :617–622, 2004.
- [4] S. Dubnov and G. Assayag. Improvisation planning and jam session design using concepts of sequence variation and flow experience. *Proceedings of Sound and Music Computing '05*, 2005.
- [5] S. Dubnov, G. Assayag, and R. El-Yaniv. Universal classification applied to musical sequences. *Proc. Int'l Computer Music Conf.*, pages 332–340, 1998.
- [6] S. Dubnov, G. Assayag, O. Lartillot, and G. Berjano. Using machine-learning methods for musical style modeling. *Computer*, 10(38) :73–80, 2003.

