



HAL
open science

Guider l'improvisation musicale homme-machine : une synthèse sur le système ImproteK

Jérôme Nika, Marc Chemillier, Gérard Assayag

► To cite this version:

Jérôme Nika, Marc Chemillier, Gérard Assayag. Guider l'improvisation musicale homme-machine : une synthèse sur le système ImproteK. Journées d'Informatiques Musicales (JIM) 2016, GMEA - Labri, Mar 2016, Albi, France. hal-01361233

HAL Id: hal-01361233

<https://inria.hal.science/hal-01361233>

Submitted on 6 Sep 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

GUIDER L'IMPROVISATION MUSICALE HOMME-MACHINE : UNE SYNTHÈSE SUR LE SYSTÈME IMPROTEK

Jérôme Nika
IRCAM
UMR STMS 9912 CNRS,
UPMC, Sorbonne Universités
jerome.nika@ircam.fr

Marc Chemillier
Cams
EHES
chemilli@ehess.fr

Gérard Assayag
IRCAM
UMR STMS 9912 CNRS,
UPMC, Sorbonne Universités
assayag@ircam.fr

RÉSUMÉ

Cet article présente une synthèse de travaux réalisés sur le guidage de l'improvisation musicale homme-machine. Ceux-ci s'intéressent plus précisément à la performance interactive dans un contexte "idiomatique" ou composé à l'échelle de la structure temporelle. Ces recherches proposent l'introduction de "scénarios" temporels pour guider ou composer l'improvisation musicale homme-machine et étudient la dialectique entre planification/organisation et réactivité/spontanéité dans l'improvisation musicale interactive. Les modèles génératifs, modèles d'ordonnement, et architectures réactives en question ont été implémentés dans le système d'improvisation ImproteK, en interaction permanente avec de nombreux musiciens improvisateurs au cours de performances, résidences, sessions de travail, et entretiens. Les différents aspects abordés dans cet article sont illustrés par des extraits de captations vidéos de ces collaborations.

1. "GUIDER" L'IMPROVISATION HOMME-MACHINE

Cet article présente une synthèse des résultats de recherche et des collaborations musicales associés à la conception du système d'improvisation musicale ImproteK. Ces recherches proposent l'introduction de scénarios temporels pour guider/composer l'improvisation musicale homme-machine, et étudient la dialectique entre planification et réactivité dans l'improvisation interactive. Un « système d'improvisation » fait ici référence à un système informatique capable de produire de la musique - typiquement une séquence de notes jouées par un synthétiseur ou une séquence de dates lues dans un fichier audio - en relation directe avec le contexte musical produit par une situation de concert.

ImproteK s'inscrit dans la lignée des travaux sur l'improvisation automatique vue comme la navigation à travers une cartographie symbolique du jeu d'un musicien [1, 2], et des applications de ces principes dans le système temps-réel d'improvisation Omax [3, 4]. Ces travaux ont donné naissance à deux projets de recherche : Somax [5], s'intéressant à l'accompagnement automatique et utilisant une écoute réactive pour conduire l'improvisation de la

machine pas à pas en traduisant les entrées des musiciens co-improvisateurs en contraintes pour naviguer à travers un corpus ; et ImproteK [6], introduisant une planification long-terme tout en s'intéressant à l'associer avec la réactivité nécessaire à l'improvisation. (Nous invitons le lecteur à consulter [6] pour situer ce projet parmi les recherches actuelles portant sur des systèmes et processus génératifs dédiés à l'improvisation incluant une notion de guidage [7, 8, 9, 10].)

L'objectif est ici d'appréhender l'improvisation pulsée, et dite « idiomatique » [11] (c'est-à-dire se référant à un idiome particulier) en opposition à l'improvisation « non idiomatique » (c'est-à-dire libre) à laquelle étaient dédiés les modèles d'improvisation mentionnés dans le paragraphe précédent. Dans le cas idiomatique, l'improvisateur est confronté à des questions d'acceptabilité au regard de l'idiome : par exemple la conformité des improvisations produites à une grille de jazz, à une structure métrique... Ces questions se posent également à un système d'improvisation voulant se frotter à l'improvisation jazz, rock, blues... sans être pour autant limité à des règles impératives interdisant toute transgression et digression.

En s'appuyant sur l'existence de structures formalisées antérieures à la performance dans de nombreux répertoires improvisés (une « grille » dans l'improvisation jazz, blues ou rock ; une basse pour la main gauche dans l'improvisation baroque...) cet article présente : un modèle d'improvisation guidée par un « scénario » exploitant les connaissances a priori sur la structure de l'improvisation pour introduire des mécanismes d'anticipation ; une architecture temporelle hybride combinant anticipation et réactivité ; un module de rendu audio capable de synchroniser ses improvisations sur une pulsation non métronomique ; et un cadre théorique et pratique pour composer des pièces musicales ou des sessions d'improvisation à l'échelle de la structure, c'est-à-dire du scénario.

En s'appuyant sur des travaux antérieurs sur la génération automatique de séquences d'accords [12, 13], les premiers modèles intégrant des contraintes temporelles et des connaissances a priori sur le contexte d'improvisation ont été élaborés et implémentés dans le premier prototype d'ImproteK [14]. Ils introduisaient un formalisme portant différentes dimensions musicales selon les applications (des contraintes métriques en ce qui concerne le

rythme, ou des progressions d'accords pour l'harmonie).

Une généralisation de ces concepts a mené à l'introduction d'une structure formelle de *scénario* pour guider ou composer l'improvisation homme-machine en introduisant des mécanismes d'anticipation. Le processus d'improvisation est modélisé comme le parcours d'une mémoire musicale structurée et annotée en suivant un chemin satisfaisant le scénario guidant l'improvisation, permettant ainsi d'exploiter les connaissances a priori sur la structure temporelle de l'improvisation pour intégrer une anticipation dans le processus de génération (Section 2).

Ce modèle est embarqué dans une architecture dont l'ordonnancement permet de concilier la réactivité inhérente à l'improvisation avec une organisation temporelle prédéfinie (Section 3) et de synchroniser la restitution audio des improvisations du système avec une source extérieure de pulsation non métronomique (Section 4).

Par la suite, un travail d'abstraction et de généralisation des modèles a permis de proposer un cadre uni pour l'improvisation guidée dans un contexte idiomatique et pour l'improvisation composée dans un contexte propre à un projet musical, « libre » ou non (Section 5).

Le développement des modèles et du logiciel *ImproteK* est mené en parallèle avec un travail de terrain avec des musiciens experts pour collecter des jugements experts sur les productions du système (Section 6).

2. UTILISER LES CONNAISSANCES A PRIORI SUR LA STRUCTURE TEMPORELLE DE L'IMPROVISATION

2.1. Modèle "Scénario/Mémoire"

Le processus d'improvisation guidée est modélisé comme l'articulation entre une séquence de référence et une mémoire structurée et annotée dans laquelle on viendra rechercher des séquences musicales qui seront transformées et réagencées pour créer les improvisations (Figure 1) :

- le *scénario* est une séquence symbolique de référence guidant l'improvisation et définie sur un alphabet adapté au contexte musical,
- la *mémoire* est une séquence de contenus musicaux étiquetée par une séquence symbolique définie sur le même alphabet que le scénario.

Elle peut être enregistrée au cours de la performance ou en amont (à partir d'un matériau musical analysé et annoté).

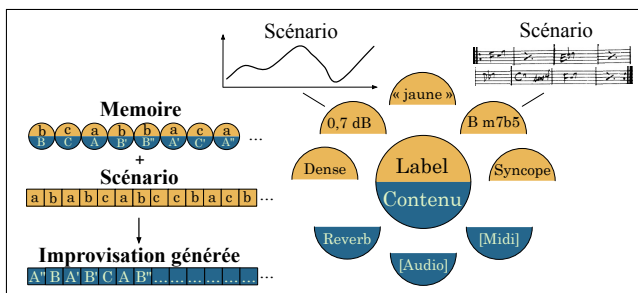


Figure 1. Un événement de la mémoire musicale.

Dans ce contexte, « improviser » signifiera parcourir la mémoire pour collecter des séquences contiguës ou non et les concaténer pour créer une phrase musicale en suivant la séquence d'étiquettes imposée par le scénario. À la manière d'un improvisateur employant un motif qu'il a entendu ou joué lui-même dans un contexte différent mais présentant localement une progression commune avec le nouveau contexte dans lequel il joue, il s'agit donc de trouver des segments de la mémoire correspondant aux portions successives du scénario à suivre et de les enchaîner, si possible de manière « créative ». Pour atteindre cet objectif, le modèle proposé associe à chaque instant de la génération (Figure 2) :

- l'anticipation en assurant la continuité avec le futur du scénario (voir 2.1.1),
- la cohérence avec la logique musicale de la mémoire en assurant la continuité avec le passé de la mémoire (voir 2.1.1).

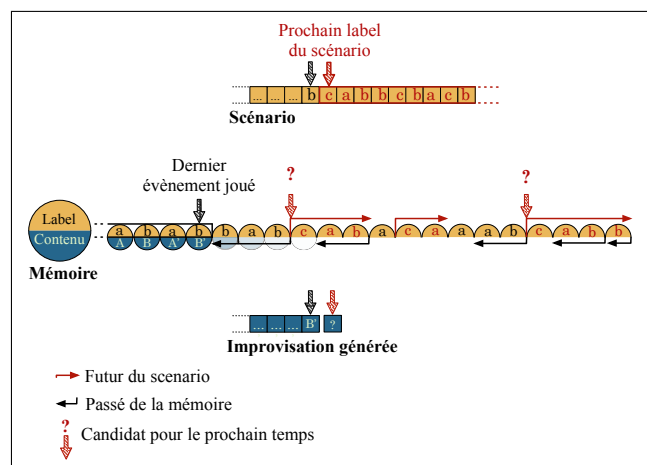


Figure 2. Associer la continuité avec le futur du scénario (anticipation) et continuité avec le passé de la mémoire (maintenir la cohérence du discours musical en concaténant des séquences non contiguës).

De cette manière le processus de génération est « dirigé vers l'avant » (par analogie avec un musicien prévoyant la résolution de sa cadence), et il peut recopier les séquences de la mémoire ou utiliser une analyse de ses similarités internes pour suivre des chemins équivalents mais non linéaires afin de pouvoir s'éloigner du matériau musical original tout en restant cohérent.

2.1.1. Anticipation : continuité avec le futur du scénario

(Figure 2 : flèches rouges vers l'avant.) A chaque instant de l'improvisation, les segments de la mémoire correspondant à une partie de la section du scénario qui reste à jouer sont des *préfixes* du *suffixe courant* du scénario. L'algorithme recherchant ces événements dans la mémoire reprend le schéma classique des algorithmes de recherche des *occurrences* d'un motif dans un texte en l'adaptant à l'indexation de tous les *préfixes* d'un motif dans un texte : comparaisons et appels à une fonction de suppléance pour

décaler une fenêtre glissante afin d'éviter les comparaisons redondantes (voir [6]).

2.1.2. Cohérence dans la digression : continuité avec le passé de la mémoire musicale

(Figure 2 : flèches noires vers l'arrière) La recherche évoquée dans le paragraphe ci-dessus est associée avec une indexation des événements de la mémoire présentant un passé commun avec le dernier élément joué. Cette information est obtenue grâce à la structure d'automate choisie pour apprendre la mémoire musicale : l'oracle des facteurs [15, 16]. Cet automate fini déterministe reconnaît (un peu plus que) le langage défini par l'ensemble des facteurs du mot sur lequel il est construit, et son algorithme de construction est incrémental et linéaire en temps et en mémoire. L'automate n'est pas utilisé pour effectuer des recherches de motifs à proprement parler : on utilise ici ses liens de constructions qui ont la particularité de relier des éléments présentant des suffixes communs, et donc ici un passé musical commun (voir [17]). Ce dernier point permet de créer des transitions musicales cohérentes même si les séquences collectées dans la mémoire pour créer l'improvisation ne sont pas contiguës.

2.2. Pourquoi un scénario ?

A un premier niveau, l'introduction d'une structure de scénario dans le modèle présenté ci-dessus permet d'assurer l'acceptabilité de ce que produit le système eu égard à des normes stylistiques et à des valeurs esthétiques implicitement associées aux idiomes utilisés. L'analyse des similarités internes de la mémoire évoquée plus haut permet également de recontextualiser des enchaînements et de tuiler des séquences présentant un passé musical commun afin de produire des séquences nouvelles qui ne sont pas présentes en l'état dans la mémoire musicale originale (voir 2.3). Ensuite, la connaissance du futur que fournit le scénario permet d'introduire des mécanismes d'anticipation pour améliorer la qualité des improvisations produites, ce qui est d'autant plus pertinent dans le cas d'improvisations « hybrides » (voir 2.4). Enfin, on montrera en Section 5 comment cette structure de scénario permet d'aller au-delà de simples critères de conformité pour ouvrir à la composition de performances improvisées.

2.3. Exploiter la connaissance du futur et assurer la conformité de l'improvisation produite

La **Video 1**¹ montre un premier exemple d'improvisation jazz issu d'une session d'improvisation avec Rémi Fox. Le positionnement de la pulsation et des harmonies par rapport aux phrases jouées par le musicien est enregistré pendant la performance de sorte que la musique captée peut être réutilisée immédiatement par le modèle présenté précédemment (Figure 3). Le scénario correspond ici à une grille d'accords, et la mémoire est uniquement constituée de la musique enregistrée au fil de la session.

1. Lien **Video 1** : www.youtube.com/watch?v=w17pFvri06A

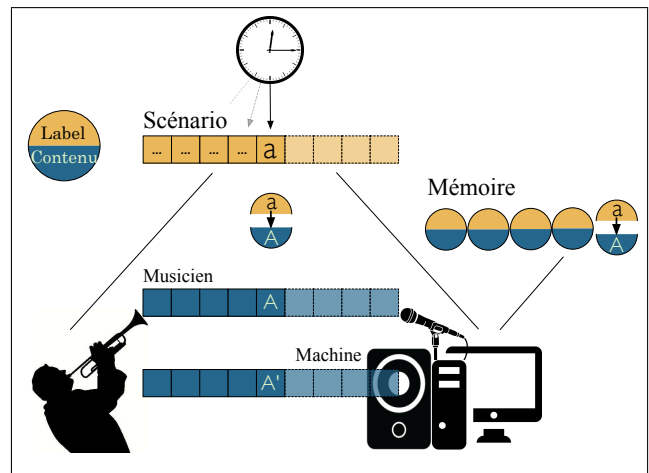


Figure 3. Le scénario : un référent commun pour le musicien et la machine.

2.4. Hybridation

On appelle ici « hybridation » le fait d'utiliser le modèle pour improviser sur un scénario donné en utilisant une mémoire constituée d'une ou plusieurs séquences différentes mais décrites avec le même alphabet musical.

En reprenant l'analogie avec un musicien réutilisant un « plan » qu'il a entendu ou joué lui-même dans un autre contexte qui présentait des similarités locales, l'anticipation (2.1.1) rendue possible par la connaissance du scénario permet de générer des séquences musicales plus cohérente qu'un suivi pas à pas du scénario. L'idée est simple : par exemple, pour jouer un *ii-V-I* dans le cas d'un guidage harmonique, les récurrences de cadences particulières dans les progressions harmoniques de jazz permettront de produire une narration plus crédible en cherchant un *ii* inscrit dans un *ii-V-I* (ou à défaut un *ii-V* puis un *V-I*), plutôt qu'en cherchant à concaténer des événements étiquetés *ii*, puis *V*, puis *I* recherchés indépendamment.

Pour illustrer ce processus, la **Video 2**² présente un extrait de concert avec Bernard Lubat réalisé avec un des premiers prototypes (MIDI) du système. Celui-ci est utilisé pour jouer thème et variations, puis un chorus sur un scénario défini par une grille harmonique. Il utilise une mémoire musicale très hétérogène constituée du matériau musical enregistré au cours de la performance, et d'un ensemble d'interprétations de standards de jazz, ballades, morceaux de musique brésilienne par différents interprètes.

La **Video 3**³, extraite d'une improvisation d'Hervé Sellin avec ImproteK (contrôlé par G. Bloch) sur "The Man I Love", illustre un projet plus récent dans lequel ces mécanismes d'hybridation ont été mis à profit. Le scénario donné au système est la grille harmonique de la chanson, et sa mémoire musicale contient :

- Hervé Sellin jouant "The Man I Love",
- Billie Holiday chantant "The Man I Love",
- Edith Piaf chantant "Mon dieu" et "Milord",

2. Lien **Video 2** : www.youtube.com/watch?v=yY3B5qfFri8

3. Lien **Video 3** : www.youtube.com/watch?v=fyW4A3L7kBo

- Elisabeth Schwarzkopf chantant "Mi tradi quell' alma ingrata" (Mozart, Don Giovanni), et "Tu che del gel sei cinta" (Puccini, Turandot).

3. IMPROVISATION GUIDÉE EN TANT QU'APPELS DYNAMIQUES À UN MODÈLE COMPOSITIONNEL

Dans le cadre de l'improvisation guidée par un scénario, une « réaction » ne peut pas seulement être vue comme une réponse épidermique et instantanée mais doit tirer profit de la connaissance de ce scénario pour s'inscrire dans le temps. Le principal intérêt de l'introduction d'un scénario est en effet d'utiliser cette structure temporelle pour anticiper la génération, c'est-à-dire utiliser la connaissance de ce qui est attendu pour le futur pour améliorer la génération du temps présent. Qu'une réaction soit déclenchée par un contrôle utilisateur, par des règles impératives propres à un projet musical, ou par l'analyse du jeu live d'un musicien, elle est vue ici comme la révision d'anticipations du système à la lumière de nouveaux événements ou contrôles.

La question de la conciliation entre planification long-terme et réactivité est abordée en modélisant l'improvisation guidée comme des appels dynamiques à des processus statiques, c'est-à-dire des appels « en temps » à un modèle compositionnel. Le modèle de génération guidée présenté précédemment peut en effet être utilisé à des fins compositionnelles (voir Section 5), et est intrinsèquement « hors temps » puisqu'une exécution produit une séquence musicale complète qui sera ensuite déroulée dans le temps.

3.1. Anticipation et réactivité : embarquer un modèle « compositionnel » dans une architecture réactive

« Réagir » revient donc ici à composer une nouvelle structure sur une fenêtre temporelle spécifique au-delà du temps de la performance, ré-écrivant possiblement le matériau précédemment généré. L'architecture présentée dans cette section gère les requêtes dynamiques envoyées au modèle pour générer et affiner les anticipations en réaction à des changements de paramètres de contrôle ou du scénario lui-même, tout en préservant son horizon long-terme.

L'architecture dans laquelle le modèle est embarqué se situe à la frontière entre les paradigmes *offline* et *online* concernant la gestion du temps et les stratégies d'ordonnement et de planification des systèmes musicaux informatiques. D'un côté, *offline* correspond aux systèmes de « composition assistée par ordinateur » [18]), dans lesquels les structures musicales sont calculées en suivant une stratégie du « meilleur effort » et pour lesquels le rendu musical n'implique qu'une planification statique. De l'autre, *online* correspond aux systèmes dédiés à la performance [19] où le temps du calcul fait partie du temps du rendu musical.

3.2. « Réaction » en tant que réécriture des « anticipations »

Par soucis de concision (et loin de tout anthropomorphisme) on appellera :

- « anticipations » l'état courant du matériau musical généré au-delà du temps de la performance,
- « intentions » l'état courant du scénario et de paramètres secondaires de génération au-delà du temps de la performance.

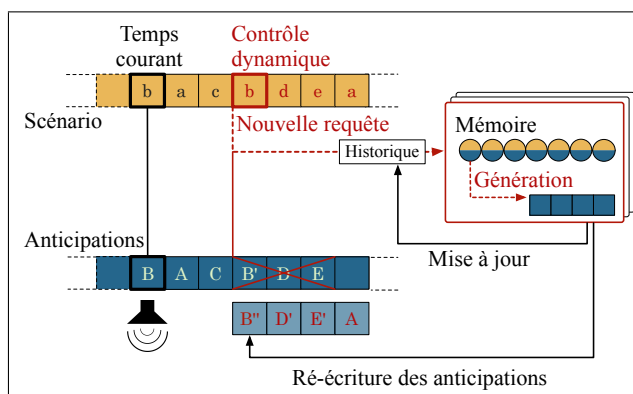


Figure 4. Réaction en tant que ré-écriture des anticipations.

Dans ce cadre, une « réaction » suit une altération des intentions par un contrôle déclenchant l'envoi d'une requête au modèle de génération pour produire un fragment d'improvisation commençant à une position donnée du scénario (supérieure ou égale au temps courant de la performance). Les anticipations évolutives du système résultent donc d'appels successifs ou concurrents au modèle présenté précédemment. Comme illustré en Figure 4, un nouveau fragment d'improvisation généré est mis en mémoire dans une « partition dynamique » en attendant d'être ré-écrit ou joué en temps voulu (voir section suivante, 4.1).

La **Video 4**⁴ simule différentes situations de performance pour montrer les processus en action derrière l'interface. A chaque réaction du système à une modification de ses « intentions » (du scénario ou d'une autre dimension musicale, un paramètre de filtrage des solutions par exemple), des « anticipations » prenant en compte le nouveau contexte sont ré-écrites et remplacent les anticipations précédemment générées alors que le système est en train de jouer.

L'agent réactif mettant ces mécanismes en oeuvre [20] (gestion des requêtes, des accès concurrents aux données, trace d'exécution pour assurer la cohérence entre deux requêtes successives) a été réalisé dans le cadre de la nouvelle architecture d'ordonnement [21] de l'environnement OpenMusic [22].

4. Lien **Video 4** : www.youtube.com/watch?v=w8EWxFijB4Y

4. JOUER AVEC LE MUSICIEN, ET AVEC LE SON DU MUSICIEN

Le modèle « scénario / mémoire », comme la plupart des modèles manipulant des descriptions symboliques des séquences musicales, procède à une association symbolique entre les unités du scénario et celles de la séquence décrivant la mémoire. Il s'agit donc ensuite de procéder à l'association temporelle élastique entre les positions correspondantes dans une mémoire audio « live » et le temps réel de la performance, mesuré par un tempo possiblement fluctuant et donc une pulsation non nécessairement métronomique.

4.1. Partition dynamique

Nous proposons pour cela une architecture audio dans laquelle le jeu des musiciens co-improvisateurs est enregistré, segmenté par des marqueurs temporels de pulsation, et indexé en temps-réel au sein d'une « partition dynamique » [23]. Cette partition dynamique est un programme réactif chargé de synchroniser des processus musicaux et leurs rendus avec les entrées musicales et les entrées de contrôle venant de l'environnement, en particulier une source extérieure de pulsation non-métronomique pour s'adapter au tempo fluctuant des co-improvisateurs humains. Chaque unité d'improvisation symbolique générée par le modèle est associée à la date correspondante à lire dans la mémoire audio enregistrée. Le système peut donc ainsi improviser en ré-injectant le matériau audio « live », qui est traité et transformé pour satisfaire le scénario et pour être joué de manière synchrone avec une pulsation humaine (Figure 5).

Différentes voix constituant l'improvisation de la machine sont définies comme différentes instances concurrentes d'un même processus générique. Comme l'illustre la Figure 5, ce processus envoie continuellement les positions à lire dans la mémoire audio (enregistrée en temps réel) en passant par un vocodeur de phase [24] permettant la re-synthèse de sons avec des modifications comme l'étirement temporel, la transposition, différents filtrages,... etc. Lorsqu'à deux temps successifs de l'improvisation générée correspondent deux unités non consécutives de la mémoire audio, un effet de « crossfade » est utilisé entre une nouvelle voix d'improvisation et la précédente, qui est ensuite stoppée après ce relai.

4.2. Jouer en ré-injectant le son « live » synchronisé avec une pulsation extérieure non métronomique

La synchronisation avec l'environnement et la pulsation non-métronomique est donc réalisée en associant les stratégies de synchronisation de la partition dynamique (4.1) et d'un vocodeur de phase qui permet l'étirement temporel avec préservation de l'attaque [25]. Cette partition dynamique est implémentée en utilisant le système Antescofo [26] et plus particulièrement son langage de programmation associé [27, 28]. Il contient des variables spécifiques dont les mises à jour sont écoutées de la même

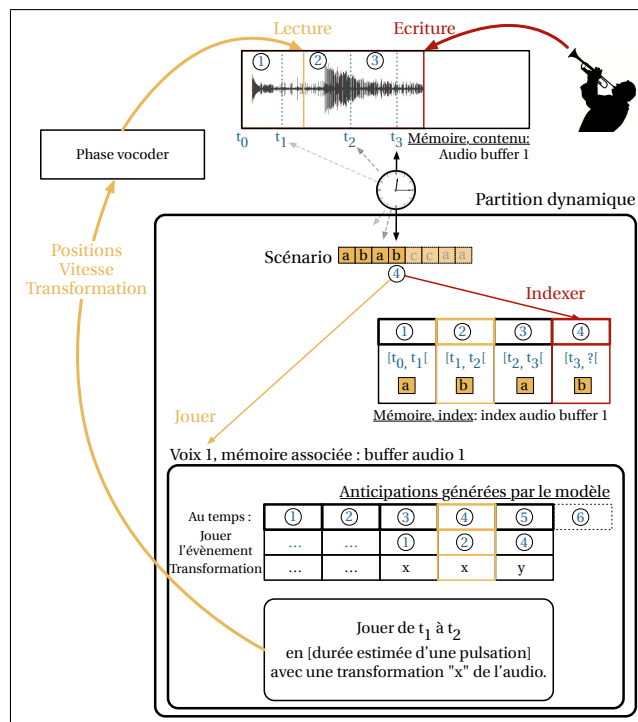


Figure 5. Enregistrer, indexer, et utiliser l'audio enregistré pendant la performance pour créer des improvisations synchronisées sur une source de pulsation non-métronomique.

manière que des événements musicaux provenant d'un musicien durant une performance de musique mixte avec suivi automatique de partition.

De cette manière, le système peut se synchroniser sur les mises à jour de ces variables de la même manière qu'il suivrait la pulsation d'un musicien. Quand une telle variable est déclarée en renseignant une connaissance a priori sur la périodicité de ses mises à jour, une nouvelle estimation de tempo [29, 30] est effectuée à chaque fois qu'elle est modifiée. L'adaptation dynamique au temps réel de la performance de la vitesse de lecture dans la mémoire est donc effectuée en liant une telle variable de synchronisation à une source extérieure de pulsation (imposée par le système, issue d'un système de détection de pulsation, d'une piste de marqueurs temporels...).

La **Video 5**⁵ présente un compilation de plusieurs improvisations « scat » avec Bernard et Louis Lubat sur des scénarios de progressions harmoniques et/ou de structures métriques. Elle illustre les processus assurant la ré-injection synchronisée de l'audio enregistré au cours de la performance présentés dans les paragraphes précédents. Pour toutes ces sessions d'improvisation, le système débute avec une mémoire musicale vide et improvise en utilisant le matériau audio enregistré au fil de la performance, traité et transformé en temps réel de manière à ce qu'il satisfasse le scénario tout en étant réactif à des contrôles extérieurs, et synchronisé avec le tempo humain non-métronomique.

5. Lien **Video 5** : www.youtube.com/watch?v=MsCFoqnvAew

5. GÉNÉRICITÉ : SCÉNARI, SCÉNARIOS... ET META-COMPOSITION

Dans les exemples illustrant les sections précédentes, le guidage par scénario et l'architecture temporelle sont utilisés pour assurer la conformité des improvisations de la machine à des cadres donnés. La genericité de l'association « scénario / mémoire » et la possibilité de définir des scénarios dynamiques incitent à explorer d'autres directions que l'improvisation jazz pour laquelle le système a été initialement conçu. Des scénarios décrits avec un alphabet spécifique à un vocabulaire musical donné (en termes de descripteurs audio-musicaux par exemple, ou avec un alphabet arbitraire) permettent d'aborder de nouveaux modes de guidage et de composition de l'improvisation musicale. Les travaux présentés dans cette section ont pour objectif d'impliquer les musiciens dans le « méta-niveau de composition » que constitue la conception d'un instrument interactif pour l'improvisation évoqué par Robert Rowe dans *The aesthetics of interactive music systems* [31]. Un travail sur la genericité des modèles et de leurs implémentations au sein d'une architecture logicielle modulaire a permis d'élaborer le cadre pour la composition de sessions d'improvisation résumé en Figure 6.

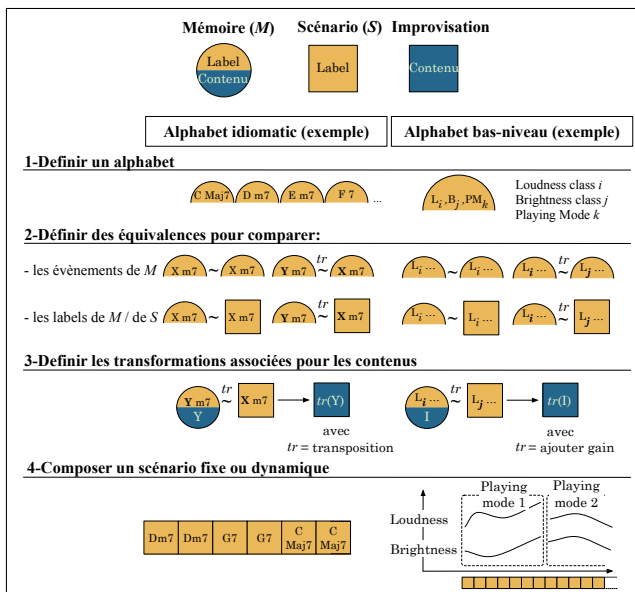


Figure 6. Un protocole pour composer des sessions d'improvisation à l'échelle du "scénario".

Dans ce cadre, des musiciens pour qui la définition d'un alphabet musical et la conception de scénarios d'improvisation font partie intégrante du processus créatif peuvent être impliqués en amont de la performance, comme c'est le cas dans les exemples qui suivent.

5.1. Utiliser les mêmes modèles formels pour explorer différents cadres musicaux, exemples

5.1.1. Scénario = forme abstraite composée utilisant un alphabet arbitraire

L'improvisation présentée en **Video 6**⁶, préparée avec Rémi Fox pour le Montreux Jazz Festival 2015, est construite sur une forme abstraite. Le scénario décrit simplement une pulsation, une structure d'entrées de voix, de répétitions, reprises et transpositions, et définit deux voix pour la machine (accompagnement et solo) avec pour objectif de créer une texture répétitive et mouvante. Ici encore, le système débute la session avec une mémoire musicale vide et improvise les différentes voix en ré-injectant l'audio enregistré pendant la performance de manière à suivre le scénario, tout en étant réactif à des contrôles extérieurs.

5.1.2. Scénario = profil composé d'intensité, brillance, et mode de jeu

La **Video 7**⁷ montre les premières expériences menées avec Michelle Agnès, dont les travaux mêlent improvisation et composition, et dont la musique improvisée est structurée par un plan composé selon plusieurs dimensions musicales. Le scénario est ici un profil couplé d'intensité, brillance, et mode de jeu. Il est composé de telle sorte que l'improvisation générée alterne entre prolongation et contrepoint du geste musical.

5.1.3. Scénario = profil extrait d'une cible audio

Le dernier exemple présenté en **Video 8**⁸ utilise une cible audio en tant que scénario. Le scénario correspond à une analyse réalisée sur la bande sonore d'une scène de film sans musique (descripteurs audio : centroïde spectral et rugosité). Ce profil est utilisé pour guider la navigation à travers la mémoire musicale choisie : *Atmosphères* de G. Ligeti, et la séquence générée remplace la piste sonore originale.

6. COLLABORATIONS : EXPÉRIMENTATIONS, VALIDATION, ET ENQUÊTE

Cet article a présenté : un modèle d'improvisation guidée par un « scénario » exploitant les connaissances a priori sur la structure de l'improvisation pour introduire des mécanismes d'anticipation ; une architecture temporelle hybride combinant anticipation et réactivité ; un module de rendu audio capable de synchroniser ses improvisations sur une pulsation non métronomique ; et un cadre théorique et pratique pour composer des pièces musicales ou des sessions d'improvisation à l'échelle de la structure, c'est-à-dire du scénario. Dans des directions opposées, les travaux futurs viseront à associer les mécanismes réactifs à des modules d'écoute ainsi qu'à des contrôles plus fins

6 . Lien **Video 6** : www.youtube.com/watch?v=Z17rHmH-Gmo

7 . Lien **Video 7** : www.youtube.com/watch?v=mQeG2e7hPVQ

8 . Lien **Video 8** : www.youtube.com/watch?v=am_YDsu4Ko8

qui sont laissés à un opérateur pilotant le système, ou par l'interprète l'utilisant lui-même en tant qu'effet.

Ces recherches ont été menées en interaction constante avec des musiciens improvisateurs, en intégrant pleinement les interactions et les échanges au processus itératif de développement des modèles et du système. Le logiciel ImproteK implémentant les modèles a été utilisé sur scène et lors de séances de travail avec de nombreux musiciens improvisateurs experts, et en explorant à leurs côtés autant d'idiomes et de répertoires différents (par ordre chronologique des premières collaborations) : Bernard Lubat (« chansons enjazzées », jazz, et improvisation libre), Jovino Santos Neto (jazz et musique brésilienne), Kilema (cithare malgache), Charles Kely (jazz et musique malgache), Louis Mazetier (piano stride), Michelle Agnès (création contemporaine), Rémi Fox (jazz, funk, et improvisation générative), Hervé Sellin et Georges Bloch (jazz et création contemporaine) ...

Le schéma général des modèles présentés est motivé par une approche basée sur des métaphores de la réalité de l'improvisation : les choix technologiques sont validés et affinés en interaction avec les musiciens au cours de séances d'expérimentation effectuées dans le cadre d'une enquête ethnomusicologique mêlant sessions de travail en situation « d'observation participante » [32] et concerts. Au cours de ces collaborations, les sessions d'expérimentations ont donc été associées à des entretiens et des sessions de réécoute critique afin de valider les modèles et de recueillir de nombreuses appréciations formulées par les musiciens sur les résultats produits par le système [33], ouvrant parfois au développement d'une pensée esthétique et à l'élaboration d'un discours sur l'improvisation dépassant le simple cadre de validation.⁹

7. REMERCIEMENTS

Ce travail a été soutenu par les projets ANR IMPROTECH ANR-09-SSOC-068, et DYCI2 ANR-14-CE2 4-0002-01.

8. REFERENCES

- [1] G. Assayag, S. Dubnov, and O. Delerue, "Guessing the composer's mind : Applying universal prediction to musical style," in *International Computer Music Conference*, Beijing, 1999, pp. 496–499.
- [2] S. Dubnov, G. Assayag, and R. El-Yaniv, "Universal classification applied to musical sequences," in *International Computer Music Conference*, Ann Arbor, Michigan, 1998, pp. 332–340.
- [3] G. Assayag, G. Bloch, M. Chemillier, A. Cont, and S. Dubnov, "OMax brothers : a dynamic topology of agents for improvisation learning," in *1st ACM workshop on Audio and music computing multimedia*, ACM, Santa Barbara, California, 2006, pp. 125–132.
- [4] B. Lévy, G. Bloch, and G. Assayag, "OMaxist dialectics," in *Proc. of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, 2012, pp. 137–140.
- [5] L. Bonnasse-Gahot, "An update on the SOMax project," Ircam - STMS, Tech. Rep., 2014, internal report ANR project Sample Orchestrator 2, ANR-10-CORD-0018.
- [6] J. Nika, M. Chemillier, and G. Assayag, "Improtek : introducing scenarios into human-computer music improvisation," *ACM Computers in Entertainment, Special Issue on Musical Metacreation*, 2016.
- [7] C.-i. Wang and S. Dubnov, "Guided music synthesis with variable markov oracle," *Tenth Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference*, 2014.
- [8] G. Surges, "Generative audio systems : Musical applications of time-varying feedback networks and computational aesthetics," Ph.D. dissertation, University of California San Diego, 2015.
- [9] A. Donzé, R. Valle, I. Akkaya, S. Libkind, S. A. Seshia, and D. Wessel, "Machine improvisation with formal specifications," *Proceedings of the 40th International Computer Music Conference (ICMC)*, 2014.
- [10] F. Ghedini, F. Pachet, and P. Roy, "Creating music and texts with flow machines," in *Multidisciplinary Contributions to the Science of Creative Thinking*. Springer, 2016, pp. 325–343.
- [11] D. Bailey, *Improvisation : its nature and practice in music*. Da Capo Press, 1993.
- [12] M. Chemillier, "Improviser des séquences d'accords de jazz avec des grammaires formelles," in *Proc. of Journées d'informatique musicale*, Bourges, 2001, pp. 121–126, (English summary).
- [13] —, "Toward a formal study of jazz chord sequences generated by Steedman's grammar," *Soft Computing*, vol. 8, no. 9, pp. 617–622, 2004.
- [14] J. Nika and M. Chemillier, "Improtek : intégrer des contrôles harmoniques pour l'improvisation musicale dans la filiation d'OMax," in *Journées d'Informatique Musicale (JIM 2012)*, Mons, Belgique, 2012, pp. 147–155. [Online]. Available : <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01059324>
- [15] C. Allauzen, M. Crochemore, and M. Raffinot, "Factor oracle : A new structure for pattern matching," in *SOFSEM 99 : Theory and Practice of Informatics*. Springer, 1999, pp. 758–758.
- [16] A. Lefebvre, T. Lecroq, and J. Alexandre, "Drastic improvements over repeats found with a factor oracle," *Proceedings of the 13th Australasian Workshop on Combinatorial Algorithms*, pp. 253–265, 2002.
- [17] G. Assayag and G. Bloch, "Navigating the oracle : A heuristic approach," in *International Computer Music Conference*, Copenhagen, 2007, pp. 405–412.

9. Quelques entretiens : www.youtube.com/playlist?list=PL-C_JLZNFAGcyjSWATaNRFEjf2tFp1-Nw.

- [18] G. Assayag, "Computer Assisted Composition Today," in *1st symposium on music and computers*, Corfu, 1998.
- [19] R. Dannenberg, "Real-Time Scheduling and Computer Accompaniment," in *Current Directions in Computer Music Research*, M. Press, Ed., vol. 225-261, 1989.
- [20] J. Nika, D. Bouche, J. Bresson, M. Chemillier, and G. Assayag, "Guided improvisation as dynamic calls to an offline model," in *Sound and Music Computing conference (SMC)*, 2015.
- [21] D. Bouche and J. Bresson, "Articulation dynamique de structures temporelles pour l'informatique musicale," in *Actes du 10ème Colloque sur la Modélisation des Systèmes Réactifs (MSR)*, Nancy, France, 2015.
- [22] J. Bresson, C. Agon, and G. Assayag, "OpenMusic. Visual Programming Environment for Music Composition, Analysis and Research," in *ACM Multi-Media 2011 (OpenSource Software Competition)*, Scottsdale, AZ, USA, 2011.
- [23] J. Nika, J. Echeveste, M. Chemillier, and J.-L. Giavitto, "Planning Human-Computer Improvisation," in *International Computer Music Conference*, Athens, Greece, 2014, pp. 1290–1297. [Online]. Available : <http://hal.inria.fr/hal-01053834>
- [24] P. Depalle and G. Poirot, "A modular system for analysis, processing and synthesis of sound signals," in *Proceedings of the International Computer Music Conference*. International Computer Music Association, 1991, pp. 161–164.
- [25] A. Röbel, "A new approach to transient processing in the phase vocoder," in *Proc. of the 6th Int. Conf. on Digital Audio Effects (DAFx03)*, 2003, pp. 344–349.
- [26] A. Cont, "Antescofo : Anticipatory synchronization and control of interactive parameters in computer music," in *International Computer Music Conference*, Belfast, 2008.
- [27] J. Echeveste, A. Cont, J.-L. Giavitto, and F. Jacquemard, "Operational semantics of a domain specific language for real time musician–computer interaction," *Discrete Event Dynamic Systems*, pp. 1–41, 2013.
- [28] J. Echeveste, "Un langage de programmation pour composer l'interaction musicale : la gestion du temps et des événements dans antescofo," Ph.D. dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, 2015.
- [29] E. W. Large, "Periodicity, pattern formation, and metric structure," *Journal of New Music Research*, vol. 30, no. 2, pp. 173–185, 2001.
- [30] E. W. Large and M. R. Jones, "The dynamics of attending : How people track time-varying events." *Psychological review*, vol. 106, no. 1, p. 119, 1999.
- [31] R. Rowe, "The aesthetics of interactive music systems," *Contemporary music review*, vol. 18, no. 3, pp. 83–87, 1999.
- [32] M. Hood, "The challenge of" bi-musicality"," *Ethnomusicology*, vol. 4, no. 2, pp. 55–59, 1960.
- [33] M. Chemillier and J. Nika, "Etrangement musical : les jugements de goût de Bernard Lubat à propos du logiciel d'improvisation ImproteK," *Cahiers d'ethnomusicologie*, no. 28, 2015.