

Interactions réflexives : du « c'est marrant » aux machines à Flow

F. Pachet
Sony - CSL, Paris

Résumé

Dans cet exposé j'introduis la notion d'*interaction réflexive*, classe de systèmes interactifs reposant sur un effet de miroir produit par un algorithme d'apprentissage inséré dans une boucle de rétro-action. Ces systèmes présentent un intérêt particulier pour l'utilisateur car ils produisent des interactions particulièrement addictives. Je motive ce concept par un certain nombre d'expérimentations réalisées avec deux systèmes interactifs réflexifs, le *Continuator*, compagnon improvisateur, et le *Music Browser*, système d'accès aux catalogues musicaux.

1 Le « C'est marrant »

La notion de système interactif est probablement aussi ancienne que l'ordinateur. Un utilisateur produit des actions qui sont interprétées par la machine. Celle-ci produit à son tour des effets, qui vont de l'affichage d'une valeur dans le cas du prompt Lisp, à la synthèse de musique dans le cas de systèmes interactifs musicaux. Si nous avons tous été utilisateurs de systèmes interactifs d'une manière ou d'une autre, la plupart ne nous ont pas laissés de souvenirs impérissables. Certains, cependant, nous ont intéressés plus que d'autres.

La question que je pose dans cet article est un peu particulière, elle concerne l'expérience subjective de ces systèmes et plus particulièrement la question : Comment concevoir un système interactif qui soit véritablement intéressant, voire addictif, tel que l'expérience de son interaction soit plaisante, enrichissante, stimulante. Pour utiliser une expression française populaire, la question est comment

concevoir un système interactif « marrant ».

Plus précisément je propose de définir une classe de systèmes, les *systèmes interactifs réflexifs*, qui, en réalisant une sorte de miroir de l'utilisateur, produisent des interactions d'un type particulier. Ce papier est une description de deux tels systèmes et d'expérimentations réalisées avec d'eux depuis plusieurs années.

La notion d'interaction réflexive est intimement liée à la notion de feedback, dans le sens où elle met en jeu une boucle d'interaction potentiellement infinie entre un utilisateur et lui-même. Celui-ci est le seul à entrer des informations dans le système, il n'y a pas de ré injection directe de la sortie, mais les actions de l'utilisateur sont fortement influencées par la perception qu'il fait de la sortie du système, sortie sensée le stimuler par un effet de miroir.

La principale différence entre une interaction réflexive et un système de feedback traditionnel est que l'on introduit une étape d'apprentissage dans la boucle de rétro-action : Le système réalise un apprentissage mimétique et continu de l'utilisateur.

Cette définition est volontairement générale pour s'appliquer à des cas de figure très variés. Cependant on peut affiner la nature de l'étape d'apprentissage, qui pour être efficace, et produire les effets désirés doit satisfaire les critères suivants :

- Produire des sorties qui donnent une impression de similarité « stylistique » au sens large
- Prendre en compte de manière incrémentale les actions de l'utilisateur
- Produire une sortie qui soit facilement contrôlable.

Dans une première partie je rappelle quelques expériences réalisées avec le système *Continuator*, dans le domaine de l'improvisation, avec des musiciens de Jazz et des enfants. J'introduis ensuite

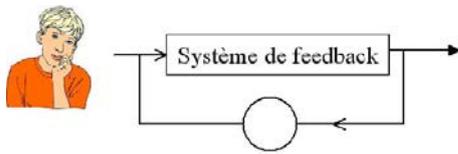


FIG. 1 – Dans un système de feedback traditionnel, la sortie est directement réinjectée dans l'entrée

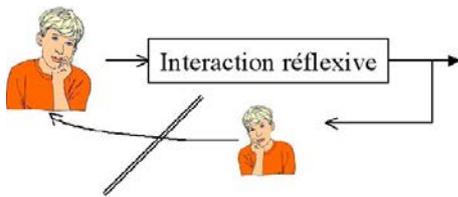


FIG. 2 – Dans un système d'interaction réflexive, la sortie du système produit un modèle explicite de son utilisateur

la théorie du Flow de Csikszentmihalyi (1990), qui semble bien adaptée pour décrire les expériences subjectives liées à ce type de système, en particulier l'aspect autotélique des activités qu'ils engendrent. Les systèmes réflexifs interactifs sont alors vus comme des machines à Flow. Dans une troisième partie j'expose brièvement des travaux en cours portant sur l'application de ces idées pour le browsing interactif de collections de musique.

2 Le projet Continuator : de la frustration intrinsèque de l'improvisateur

Le projet Continuator est né tout d'abord d'une frustration de musicien de Jazz : celle de ne pas jouer assez vite. Le projet s'est ensuite modifié à la suite d'observations sur l'effet induit par le système.

2.1 Continuator, la genèse

Un bon improvisateur de Jazz est souvent frustré : si les idées fusent dans la tête, le corps, les doigts,

ne suivent pas toujours. Seul un travail de l'instrument, long et continu, permet d'augmenter les possibilités de jeu, mais il semble que l'improvisation repose essentiellement sur un décalage entre ce qui est pensé, voulu et ce qui est produit. Le premier système réflexif interactif que j'ai conçu permettait de produire des gammes linéaires à partir d'une entrée jouée par un utilisateur à partir d'un clavier Midi. La sortie consistait en des gammes « similaires », toujours linéaires, mais produites en temps réel, au même tempo, par un algorithme de génération Markovienne décrit dans (Pachet, 2001).

L'idée d'utiliser des processus markoviens pour analyser et générer de la musique n'est pas nouvelle, elle existe depuis les débuts de la théorie de l'information (Brooks et al, 1957). Bien d'autres raffinements successifs ont été apportés aux premiers modèles Markoviens, culminant avec les œuvres réalisées par les systèmes de David Cope (1996). Mais le Continuator était le premier système interactif permettant de produire des continuations en temps réel, à partir d'entrées d'utilisateurs quelconques. Ces premières gammes du Continuator, bien que linéaires, produisaient déjà un effet stimulant remarquable car elles capturaient des patterns récurrents des gammes d'entrée, tout en générant un flux continu, et possiblement infini, dans lequel l'utilisateur ne pouvait que se reconnaître, parfois malgré lui.

La collaboration avec György Kurtag puis Bernard Lubat a permis de mettre au point un système plus élaboré dépassant un certain nombre des limites du premier système, en particulier prenant en compte :

- La polyphonie, à travers une méthode de segmentation des flux Midi entrant appropriée
- Le rythme, à travers plusieurs « modes » de génération
- L'harmonie, à travers des modes de contrôles spécifiques.
- Les erreurs, via une hiérarchie de graphes d'apprentissage, associé à des *points de vues* (Triviño-Rodriguez et Morales-Bueno, 2001) différents sur les flux d'entrée.

Un algorithme *ad hoc* d'analyse/génération a alors été conçu et implémenté dans le Continuator prenant en compte ces différents aspects, ainsi qu'un certain nombre de détails techniques permettant de le rendre suffisamment solide pour des expé-

rimentations réelles. L'algorithme principal a été décrit dans de nombreux papiers (Pachet 2002a, 2002b, 2002c, 2002d). Il repose sur la construction rapide d'un graphe de toutes les sous-séquences d'entrée, auxquelles sont associées toutes les continuations possibles, qui permet un accès très efficace de manière à être utilisable en temps réel. Son implémentation robuste a permis d'effectuer de nombreuses expériences que je voudrais décrire ici.

2.2 Expérimentations avec des musiciens de Jazz

Ce système, appelé *Continuator*, a été conçu et expérimenté entre 2000 et 2003, et a été utilisé dans une série de concerts, notamment avec Bernard Lubat au festival d'Uzeste (24 et 25 èmes Hestejada de las arts) et à l'Ircam, pendant le festival Résonances 2002, ainsi qu'avec György Kurtag (festival Sons d'hiver 2001 notamment).

Ces expérimentations ont permis de faire progresser le système sur un certain nombre de points techniques, notamment le besoin de contrôler intimement le système. En effet, le système peut aisément reproduire le style de l'utilisateur lorsque celui-ci joue de manière cohérente. Dès que plusieurs modes de jeu se mélangent, le Continuator peut alors sauter d'un style à l'autre, parfois de manière non souhaitable. Par ailleurs les nombreux paramètres de l'algorithme restent difficiles à contrôler en temps réel, et ceci est une limitation forte pour l'usage en concert (Pachet 2002e).

Les expériences du systèmes conduisaient systématiquement les utilisateurs à évoquer leur propre personnalité musicale (Pachet, 2002c). Bernard Lubat, un pianiste et batteur de Jazz, a joué avec le système à de nombreuses reprises. Il évoquait alors avec précision et humour (en particulier pendant les concerts donnés à Uzeste en 2001 et 2002) et à l'Ircam, voir Figure 4) comment le système accélérât son propre processus d'évolution dans l'improvisation, en lui permettant « d'entendre ce qu'il n'avait pas encore joué ». György Kurtag Jr., compositeur et improvisateur, a aussi beaucoup joué avec le système pendant plus de deux ans. Il décrit le Continuator comme une sorte de "miroir amplifiant", et prétends que l'usage intensif du sys-

tème pendant l'année 2001 a changé sa manière de composer et d'improviser. Cette collaboration a résulté en une composition créée pendant le festival Vienna Festwochen en 2002 : « The Hollow of the Deep Sea Wave », enregistré sur un disque du Budapest Music Center.



FIG. 4 – Bernard Lubat pendant un concert à l'Ircam en 2002. A un certain moment, il « lance » le Continuator et accompagne ce lancement d'un geste particulier. Plus tard, pendant que le Continuator joue, il accompagne le jeu par des mouvements de ses mains en l'air, tout en écoutant attentivement le système

2.3 Test de Turing de l'improvisation

Plus récemment, un test de Turing de l'improvisation a été réalisé par une radio hollandaise (VPRO) et le pianiste Albert Van Veenendaal, devant un jury composé d'un musicologue et d'un critique musical.

Le principe consistait pour les deux critiques à écouter le pianiste jouer (sur un Yamaha Disklavier



FIG. 3 – Bernard Lubat et le Continuator en concert à l'Ircam, Octobre 2002

branché sur le Continuator), et essayer de deviner qui, du pianiste ou du système jouait, en temps réel. Les remarques des critiques furent enregistrées et retransmises sur la radio hollandaise VPRO en juin 2004. Le Disklavier produisant le même son, que l'on joue manuellement ou que ce soit par commande, les critiques ne pouvaient se baser que sur leur analyse de la musique produite. Le test réalisé a conclut que la différence n'était pas décelable (les critiques se trompaient en moyenne une fois sur deux), et que donc le Continuator passait le test (Veeendaal, 2004). Bien sûr, le style de jeu était de l'improvisation libre, et non pas de la musique structurée comme dans les expérimentations de Cope (1996). Mais c'est précisément ce que le test visait, et ce test fut probablement le premier test de Turing d'« improvisation libre ». Son résultat positif démontre que le système peut correctement modéliser le style de jeu d'un improvisateur, au moins pour une courte durée.

2.4 Leçons et limites

Ces nombreuses expériences ont permis de faire progresser le système, mais aussi d'identifier des limitations profondes. Techniquement, concernant la modélisation des flux Midi, un des problèmes majeurs reste le rythme : le Continuator dans son mode standard, n'a pas d'idée précise du tempo, ni même s'il y a effectivement un tempo prégnant. Il reproduit de la musique par concaténation, et peut, dans certains cas, reproduire des motifs ayant le même tempo que le tempo d'entrée. Mais ce n'est pas vrai dans le cas général. Du point de vue de l'harmonie, le système n'est pas non plus contrôlable, du moins dans son mode de base. Certaines extensions du Continuator ont été apportées pour contrôler harmoniquement le système. En particulier, un mode particulier permet de biaiser la sortie générée par le Continuator de manière harmonique, en utilisant une entrée comme attracteur. la fonction Markovienne est alors modifiée pour prendre en compte cet attracteur, et choisir de préférence des notes ou accords correspondant harmoniquement (Pachet, 2003a).

Un autre problème est celui de la structure : les phrases musicales n'ont pas de début ni de fin à proprement parler. Cette information est difficilement représentable dans un contexte Markovien : la durée totale de la phrase peut être facilement contrôlée, mais il est difficile de forcer le système à produire une phrase qui « commence » ou « se termine » explicitement dans le style d'entrée, sans altérer profondément le mécanisme de génération.

Enfin, le mode d'interaction du Continuator présenté ici est le mode question-réponse (*turn-taking*). Bien d'autres modes d'interaction ont été programmés, correspondant à des situations de jeu et d'improvisation différentes (voir Pachet, 2004b, 2006). Le besoin du système de contrôler lui-même son mode d'interaction est alors crucial pour étendre la capacité du système à s'adapter. Une interaction véritablement flexible devrait en effet être capable de s'adapter, voire de créer à la volée de nouveaux protocoles d'interaction, de la même manière qu'un bon professeur de musique sait passer d'un mode explicatif à un mode d'accompagnement ou d'écoute. Cette capacité du système à inventer de nouveaux modes nécessite une représentation réflexive des protocoles eux-mêmes, pour pouvoir être manipulés par le système en tant qu'objets de première classe. Ce travail est en cours d'élaboration, mais la tâche n'est pas aisée : la représentation réflexive se limite usuellement à aux aspects structurels, i.e. la capacité pour un programme de raisonner sur ses propres structures de données. Raisonner sur les protocoles eux-mêmes nécessite déjà d'en élaborer une ontologie, ce qui ne peut se faire qu'en accumulant suffisamment de cas concrets.

Enfin, et c'est le point le plus important, le Continuator est difficile à utiliser pour de longs concerts. S'il permet des interactions fortes sur des styles cohérents, il est difficile de le faire changer de région stylistique de manière simple. Plusieurs expériences ont été tentées dans ce sens, mais le problème reste ouvert : comment faire de la « vraie musique » et non pas uniquement de jolies démonstrations.

Une des expériences les plus réussies dans ce sens est sans doute le film réalisé par Olivier Desagnat, et mettant en scène György Kurtág père et fils, jouant avec le système dans une sorte de match de tennis. Le film, intitulé « Double Messieurs »



FIG. 5 – G. Kurtág in the movie « Double Messieurs » By Olivier Desagnat, 2002

rends bien compte à la fois des possibilités et des limites du système, lorsqu'il s'agit de créer des super structures, et d'aller au delà de l'improvisation libre.

Depuis ces premières expérimentations, plusieurs autres projets de recherche ont été lancés suivant une approche similaire : le domaine des interactions réflexives est maintenant ouvert. Cependant, outre les aspects techniques, évidemment importants, subsiste une question primordiale : l'effet subjectif du système sur l'utilisateur semble être plus important que la sortie effective du système. En d'autres termes, il est plus « marrant » de jouer avec ce système que d'écouter le résultat, sauf dans un contexte particulier de démonstration technique. Pourquoi ? Comment décrire et comprendre cet impact très particulier sur l'utilisateur ?

3 L'interaction autotélique

Une des réponses à cette question semble provenir d'autres expérimentations menées avec le Continuator, cette fois avec des enfants. Ces expériences, conduites à Paris et à Bologne depuis 2003, consistent à étudier comment les enfants réagissent au Continuator par des protocoles expérimentaux systématiques.

3.1 Expérimentations avec des enfants

Des expérimentations préliminaires furent d'abord effectuées à Paris avec des enfants de 3 ans dans une maternelle (Bossuet Notre Dame, Paris 10^e, voir Figure 6). Les réactions des enfants furent très enthousiastes : ils devenaient tout à coup intéressés par le clavier, s'amusaient des réponses produites par le système, et étaient surtout capables de focaliser leur attention sur le jeu pendant de longues minutes, parfois beaucoup plus. A la suite de ces premières expérimentations, d'autres expérimentations plus systématiques furent entreprises, avec Anna-Rita Addressi, de l'Université de Bologne.



FIG. 6 – Un enfant de 3 ans jouant avec le Continuator

Les expérimentations consistèrent en plusieurs sessions. Chaque enfant (3 à 5 ans) était invité à jouer sur un clavier Midi. Le Continuator était paramétré pour jouer des phrases de la même longueur que les phrases d'entrée et dans le même style. L'enfant était dans une salle familière avec l'expérimentateur. Le protocole se passait en deux temps : d'abord l'enfant devait jouer jusqu'à ce qu'il en ait assez, sans instruction particulière. Lorsqu'il s'arrêtaient on lui disait alors que maintenant le système allait jouer avec lui, et le Continuator était alors branché. La session s'arrêtait de même quand l'enfant le voulait. Les sessions étaient enregistrées par une caméra vidéo pour les analyses ultérieures.

Les analyses détaillées de ces expérimentations et

de leurs résultats ont été largement publiées (Addressi et Pachet, 2004, 2005). Les questions posées ci-dessous reçoivent toutes des réponses positives en large majorité. Les observations les plus marquantes sont les suivantes :

- Les effets de Aha sont effectivement produits de manière systématique. Les réactions des enfants vont d'une attention éveillée à la surprise flagrante dès que le Continuator se mettait à jouer.
- L'usage du Continuator augmente effectivement la durée d'attention de la plupart des enfants.
- Le Continuator induit des comportements de "tour de rôle" (*turn-taking*) lorsque les enfants jouent à deux avec le système. Il faut noter que l'émergence de ce comportement est caractéristique d'une attention partagée, et reste un phénomène encore mal compris.
- Quelques enfants développent, voire inventent, à la suite des interactions, de nombreux nouveaux modes de jeu. Plusieurs accompagnent aussi le système de manière gestuelle et théâtrale, à la manière de Lubat dans la Figure 4.

3.2 Le Continuator, une machine à Flow

Le problème de la caractérisation fine de l'état psychologique induit par le Continuator relève naturellement du domaine de la théorie du Flow, développée par le psychologue américain Csikszentmihalyi (1990). Csikszentmihalyi a étudié pendant de nombreuses années le comportement de personnes vivant des états d'expériences dites *optimales*, comme certains chercheurs, sportifs, ou artistes, en essayant d'identifier ce qui caractérise cet état par rapport aux états normaux. Lors d'une telle expérience optimale, une personne parvient à réaliser un fin équilibre entre ses compétences (*skills*) et ses buts (*challenges*). Deux états émotionnels sont particulièrement importants dans cette théorie : *l'anxiété*, quand les compétences sont en dessous du niveau requis pour les buts, et *l'ennui*, lors du contraire. Le Flow caractérise la position intermédiaire. D'autres états émotionnels peuvent être décrits dans ce paradigme (voir Figure 7). Le Continuator peut alors être vu comme une machine à Flow, c'est à dire capable de produire des états d'expériences optimales chez l'utilisateur, dans le sens où les buts générés sont toujours, par construction, au niveau de l'utilisateur, et ce, de

manière évolutive. Parce que le Continuator apprend en continu, il engendre des buts qui sont toujours au "bon niveau" de complexité, tout en étant capable de croître en complexité avec l'utilisateur, ce qui n'est pas le cas des systèmes dont le but est préprogrammé.

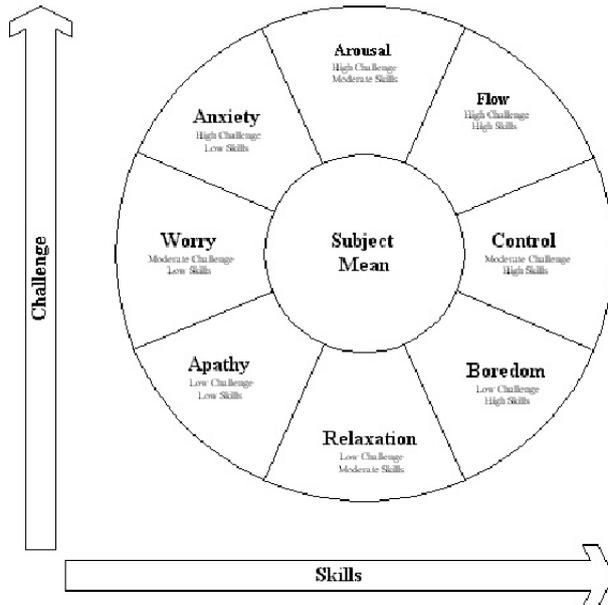


FIG. 7 – Le diagramme de l'état de Flow de Csikszentmihalyi décrit plusieurs états émotionnels comme l'ennui et l'anxiété, en fonction du rapport entre compétences et buts pour une activité donnée

Plus précisément, Csikszentmihalyi décrit l'état de Flow à l'aide de plusieurs critères. Nous avons montré que ces critères sont satisfaits pour la plupart pour ce qui concerne les interactions avec le Continuator (Ferrari et al., 2005).

Attention focalisée. Les expériences réalisées montrent clairement que les enfants se focalisent fortement à la fois pour jouer et pour écouter. En particulier, la faculté de se concentrer et d'écouter pendant plusieurs minutes est remarquable à cet âge. La Figure 9 montre plusieurs exemples de ce phénomène.

Facilité de concentration. Cet aspect est particulièrement clair ici dans la mesure où les enfants n'ont pas de consignes particulières, et jouent avec le système de manière auto motivée, sans contrainte

extérieure.

Feedback clair. Le Continuator produit un feedback clair (il ne fait même que ça), et l'interaction consiste essentiellement en l'analyse de ce feedback par l'utilisateur.

Contrôle de la situation. Les enfants contrôlent la situation la plupart du temps. Ils comprennent rapidement qu'ils peuvent interrompre le système quand ils le veulent. Les limites au contrôle proviennent de la difficulté qu'ils peuvent avoir à interpréter certaines phrases générées par le système (voir plus bas).

Motivation intrinsèque. C'est là un des aspects les plus frappants de ces expériences : les enfants développent une motivation intrinsèque, sans qu'on leur dise explicitement ce qu'il faut faire : jouer avec le Continuator est une activité autotélique, qui engendre son propre but.

Excitation. L'excitation produite est montrée clairement dans tous les cas de figure, en particulier lors des premières phases des expérimentations. L'excitation se distingue de la surprise : l'effet de surprise est le plus souvent court, l'excitation peut, elle, durer jusqu'à 20 minutes. Elle est par ailleurs produite uniquement par ce que le système joue, et pas par ce que les enfants produisent eux-mêmes. La Figure 8 montre quelques cas spectaculaires.

Changements dans la perception du temps. Une étude systématique de la perception du temps par les enfants à partir des vidéos est en cours, mais il est clair que le temps passé vite pour la plupart des enfants : quelques sessions ont même dû être terminées par les expérimentateurs...

Figure 8. Quelques expressions d'excitation musicale. L'excitation est provoquée la plupart du temps par l'écoute de la réponse du système.

3.3 Autres observations concernant les modes d'interaction

Pendant les phases d'analyse (après les phases initiales de surprise et d'excitation) bien d'autres comportements peuvent être observés. Plusieurs enfants par exemple inventent de nouveaux modes de jeu, parfois très créatifs (avec les manches, la bouche, etc.). Un comportement frappant est celui



FIG. 8 – Quelques expressions d'excitation musicale. L'excitation est provoquée la plupart du temps par l'écoute de la réponse du système



FIG. 9 – Gestes accompagnant l'écoute et la concentration

ou l'enfant découvre la notion de « phrase » musicale. Ceci est indiqué par un geste caractéristique de lancement qui évoque celui que les musiciens professionnels eux-mêmes développent spontanément. Ce geste marque la fin de la phrase de l'utilisateur et l'attente de la réponse (voir Figure 4 et Figure 11).



FIG. 10 – Des enfants lançant le Continuator après avoir terminé une phrase musicale

Enfin, un autre phénomène particulièrement intéressant est la capacité à comprendre le fonctionnement de la règle de « tour de rôle ». Comme il est dit plus haut, le mode d'emploi du système n'est pas explicité à l'enfant, qui doit le découvrir. Or les enfants comprennent très vite cette règle du jeu, après quelques interactions. Pour développer cette capacité, l'enfant doit au passage comprendre ce qui caractérise le début et la fin d'une phrase. Cette capacité se développe très tôt dans les sessions avec le système. La Figure 12 montre un scénario typique pendant lequel un enfant est confronté à une situation particulièrement claire concernant la détection des fins de phrases. Dans ce cas précis, une première continuation est pro-

duite en reprenant exactement la dernière partie de la phrase de l'enfant. Cette situation, relativement rare, se produit parce que le système lui-même n'a pas de notion de "début" ou de "fin" de phrase. Dans ce cas précis, la dernière partie de la phrase jouée par l'enfant est répétée par le Continuator puis suivie d'une nouvelle. Les expressions faciales de l'enfant montrent clairement le mécanisme de compréhension à l'œuvre.

4 Les Réflexonomies

Si le Continuator est clairement une instance de système réflexif dans son acceptation pleine, je voudrais montrer brièvement ici une autre instantiation de ce concept dans un domaine différent : celui de la classification de musique. L'explosion récente du nombre de titres numérisés disponible facilement a fait apparaître corrélativement une pression accrue pour des systèmes de classification et d'indexation automatique. Plusieurs approches se sont développées depuis quelques années dans ce sens. D'une part l'approche taxonomique classique consiste à laisser des experts classer la musique, puis à exploiter ces classifications via par des systèmes en ligne. C'est typiquement le cas de l'effort *All Music Guide*, qui a pour objectif de recenser tous les artistes et titres de la musique occidentale, et de fournir pour chacun d'eux une description textuelle utilisable depuis un client Internet. Les approches à partir du signal tentent d'automatiser ce processus, mais se heurtent à des problèmes de robustesse et de scalabilité, ainsi qu'au problème inhérent du manque d'objectivité de ces classifications (Aucouturier et Pachet, 2003). A l'autre extrême, le phénomène populaire du *social tagging* est fondé sur l'exploitation des propriétés émergentes de communautés d'utilisateurs. Chaque utilisateur annote ou décrit, à la main, ses propres items et ces informations sont agrégées pour une communauté donnée. Les tags les plus populaires peuvent alors être détectés automatiquement, ce qui résulte dans l'émergence d'un langage de description robuste, optimalement consensuel et parfaitement évolutif : les *folksonomies* (taxonomies populaires). Néanmoins, dans tous les cas de figure, subsiste un problème récurrent : annoter à la main, en isolation ou en communauté, est une tâche fastidieuse. L'idée



FIG. 11 – Un enfant interprétant les fins de phrase du Continuator. (a) il finit une phrase et attend la réponse. La réponse générée commence par la fin de la phrase de l'enfant. A la fin de la répétition de la fin, l'enfant se prépare à jouer à nouveau, supposant alors probablement que cette répétition est le signe de fin de phrase du Continuator. Ce n'est pas le cas (c), et l'enfant montre clairement sa perplexité. Finalement (d), le Continuator finit sa phrase, et l'enfant se remet à jouer

d'appliquer le concept d'interaction réflexive dans ce contexte est donc naturelle. En d'autres termes, comment rendre l'activité de tagging « marrante », voire « Flow-like » ?

Il se trouve que la notion d'interaction réflexive se trouve particulièrement bien adaptée à ce problème. Plus précisément nous introduisons ici une notion intermédiaire entre la taxonomie (universelle) et la folksonomie (relative et communautaire) : la réflexonomie. Une réflexonomie est une taxonomie produite par un système interactif réflexif. Le schéma introduit plus haut s'instancie alors de la manière suivante : les entrées du système sont des actions de classification, par exemple l'introduction d'une classe, ou l'étiquetage d'un titre par une classe. Le mécanisme d'apprentissage consiste à produire un modèle de la classification de l'utilisateur, mis à jour progressivement à chaque interaction.

Techniquement, ce modèle est fondé dans notre cas sur une analyse timbrale des titres du catalogue, utilisés ensuite pour produire un modèle de chaque classe introduite. Les *features* utilisées pour analyser les fichiers audio sont essentiellement les coefficients MFCC, et les modèles de classes utilisent des modèles de mélanges de gaussiennes (*Gaussian Mixture Models*), qui, comme les modèles Markoviens, modélisent des distributions de données, mais dans le domaine continu, et sont particulièrement bien adaptés à la représentation timbrale de signaux polyphoniques complexes (Aucouturier et al, 2005).

A chaque action de classification de l'utilisateur, le système analyse l'ensemble des données (ici des associations titre / classe), mets à jour un modèle (GMM) de ces classes, et utilise le modèle pour classer automatiquement le reste de la base, en particulier les titres non encore classés par l'utilisateur. Celui-ci peut alors, par un effet de miroir similaire à celui du Continuator, observer directement l'effet de ses descriptions sur le reste de la base, décider ou non d'accepter ces changements, puis recommencer jusqu'à ce que la classification obtenue lui soit satisfaisante.

La fabrication de réflexonomies produit des interactions réflexives d'un type très semblable à celles du Continuator. Les premiers essais réalisés montrent que le système produit des interac-



FIG. 12 – Une réflexonomie créée par une interaction réflexive. Ici, le résultat de la classification de 15 titres après 4 actions de l'utilisateur



FIG. 13 – La même collection utilisée lors d'une interaction réflexive par un autre utilisateur

tions intéressantes, qui engendrent également une activité autotélique : on classe non plus pour classer, mais parce que l'activité est amusante, avec un niveau de difficulté croissant naturellement avec l'interaction et un effet de retour immédiat qui alimente continûment l'interaction. Des expériences plus systématiques sont en cours pour évaluer cet aspect de manière systématique et à plus large échelle.

5 Conclusion

Nous avons introduit la notion d'interaction réflexive, comme une interaction comportant une étape d'apprentissage, qui est utilisée pour produire un résultat mimétique au comportement de l'utilisateur. Nous avons présenté deux tels systèmes. Le Continuator, qui a fait l'objet de nombreuses expérimentations produit clairement des interactions qui engendrent des états de Flow, comme nous l'avons étudié spécifiquement. Bien d'autres modes d'interaction restent cependant à étudier, sans compter les multiples problèmes restés ouverts concernant la représentation de structures musicales pour améliorer la qualité et le contrôle des phrases engendrées. Ces expérimentations ont ouvert un terrain d'investigation à peine ouvert, et très prometteurs, et ouvrant de nouvelles pédagogiques. Le Music Browser et les réflexonomies qu'il permet d'engendrer en est encore au stade de prototype, mais les expérimentations en cours sont très encourageantes. Elles montrent, ici, encore, que certains systèmes peuvent engendrer des activités autotéliques, pour lesquelles la qua-

lité de l'interaction compte plus que son produit. En somme que les systèmes en question sont « mar-rants ».

6 Références

- Addressi, A.-R., Pachet, F. (2004) Child Computer Interaction : Observations in Classroom Setting. In Parncutt, R., editor, Proceedings of CIM 2004, 2004.
- Addressi, A.-R. and Pachet, F. (2005) Experiments with a Musical Machine : Musical Style Replication in 3/5 year old Children. *British Journal of Music Education*, 22(1), March 2005.
- Aucouturier, J.J and Pachet, F. (2003) Representing Musical Genre : A State of the Art. *Journal of New Music Research*, 32(1), 2003.
- Aucouturier ; J.-J., Pachet, F. and Sandler, M. (2005) The Way It Sounds : Timbre Models For Analysis and Retrieval of Polyphonic Music Signals. *IEEE Transactions of Multimedia*, 7(6) :1028-1035 December 2005.
- Brooks, Hopkins, Neumann & Wright. "An experiment in musical composition." *IRE Transactions on Electronic Computers*, 6(1), 1957.
- Cope, David. (1996). Experiments in Musical Intelligence. Madison, WI : A-R Editions, 1996.
- Csikszentmihalyi, Mihaly. (1990) Flow. The Psychology of Optimal Experience. Harper and Row, New York.
- Ferrari, L. Carlotti, S. Addressi, A.-R. and Pachet, F. Suonare con il Continuator è un'esperienza ottimale ?. Proceedings of International Symposium on Psychology and Music Education, 2004.
- Pachet, F. Guitare électrique nouvelle génération. Actes des Journées d'informatique Musicale, Bourges, Juin 2001.
- Pachet, Francois (2002a) Interacting with a musical learning system : the continuator. In C. Anagnostopoulou, M. Ferrand, A. Smaill, editor, Music and Artificial Intelligence, Lecture Notes in Artificial Intelligence (vol. 2445), pages 119-132, Springer Verlag. September 2002.
- Pachet, F. (2002b) Playing with Virtual Musicians : the Continuator in practice. *IEEE Multimedia*.
- Pachet, Francois. (2002c) The Continuator : Musical Interaction with Style. In ICMA, editor, Proceedings of ICMC, pages 211-218, September 2002.
- ICMA. best paper award. Extended version in *Journal of New Music Research*, 31(4), 2003.
- Pachet, Francois (2002d) Interacting with a musical learning system : the Continuator. In C. Anagnostopoulou, M. Ferrand, A. Smaill, editor, Music and Artificial Intelligence, Lecture Notes in Artificial Intelligence (vol. 2445), pages 119-132, Springer Verlag. September 2002.
- Pachet, Francois. (2002e) Playing with virtual musicians : the Continuator in practice, *IEEE Multimedia*, April-June 2002.
- Pachet, Francois (2003a) Action, Réaction et Interaction musicale. Conférence Journées Grame 2003, Lyon.
- Pachet, F. (2003b) Music Interaction With Style. in SIGGRAPH 2003 Conference Abstracts and Applications, 2003. ACM Press.
- Pachet, Francois (2003c) Musical Interaction with Style. *Journal of New Music Research*, 32(3) :333-341, 2003.
- Pachet, Francois (2004a) Beyond the cybernetic jam fantasy : The Continuator. *IEEE Computers Graphics and Applications*, January/February 2004. Special issue on Emerging Technologies
- Pachet, F. (2004b) On the Design of Flow Machines. *The Future of Learning*, IOS Press. 2004.
- Pachet, F. (2006) Enhancing Individual Creativity with Interactive Musical Reflective Systems. *Psychology Press*. 2006.
- Pachet, F., Addressi, Anna-Rita When Children Reflect on Their Playing Style : The Continuator. *ACM Computers in Entertainment*, 1(2), 2004.
- Triviño-Rodriguez, J. L. Morales-Bueno, R. (2001) Using Multiattribute Prediction Suffix Graphs to Predict and Generate Music, *Computer Music Journal* 25 (3) pp. 62-79.
- Veenendaal (2004) Continuator plays the Improvisation Turing Test : <http://www.csl.sony.fr/~pachet/Continuator/VPRO/VPRO.htm>