

# VEMUS - UNE ÉCOLE DE MUSIQUE EUROPÉENNE VIRTUELLE

D. Fober, S. Letz, Y. Orlarey

{fober,letz,orlarey}@grame.fr

Grame - Centre national de création musicale

## RÉSUMÉ

VEMUS est un projet de recherche européen qui a pour objectif le développement et la validation d'un système ouvert et interactif d'apprentissage de la pratique instrumentale. Il traite d'instruments à vent tels que la flûte traversière, le saxophone, la clarinette et la flûte à bec. Il s'adresse à des étudiants de niveau débutant à intermédiaire. Il propose une démarche innovante, tant d'un point de vue technologique que sur un plan pédagogique. L'article présente le projet avec un accent particulier sur les technologies de *feedback* mises en oeuvre pour étendre les pratiques instrumentales et pédagogiques.

## 1. INTRODUCTION

VEMUS<sup>1</sup> est un acronyme de "Virtual European Music School" (École de de musique européenne virtuelle). C'est un projet financé par la commission européenne dans le cadre du volet "Société des technologies de l'information" (IST) du 6ème programme cadre (FP6). Le consortium regroupe 8 partenaires provenant de 6 pays différents. VEMUS fait suite et prolonge un travail initié dans le cadre du projet IMUTUS<sup>2</sup> [17] [18].

L'environnement VEMUS a pour objectif d'étendre les pratiques pédagogiques dans plusieurs directions : (a) dans le domaine de la pratique instrumentale, il s'agit d'améliorer le travail de l'élève en proposant une évaluation automatique du jeu instrumental ainsi que des commentaires structurés, adaptés à chaque élève, et en fournissant des feedbacks auditifs et visuels destinés à affiner la perception et la conscience du jeu instrumental, (b) dans l'environnement de la classe de musique, le système propose des outils pour le travail en groupe, qu'il s'agisse d'aides pour le professeur ou d'outils pour l'apprentissage collaboratif et les activités propres à un groupe d'élèves, (c) enfin VEMUS intègre des extensions pour l'apprentissage à distance : contenus pédagogiques en ligne, échanges avec d'autres écoles. Ces extensions ont pour objectif de prolonger la relation professeur-élève mais également de lever les barrières géogra-

phiques ou issues d'autres contraintes, liées par exemple à la mobilité.

Nous développerons tout d'abord les aspects liés au travail instrumental : d'un certain point de vue, le système se comporte comme un *professeur virtuel* ; il inclut un moteur d'analyse et d'évaluation de la performance [19] ; mais nous développerons surtout les nouvelles approches pédagogiques mises en oeuvre en terme de feedback en utilisant la *métaphore du miroir*. Nous présenterons ensuite les outils destinés à l'environnement de la classe de musique et au travail en groupe.

## 2. LA MÉTAPHORE DU MIROIR

En termes de pratique instrumentale, l'approche pédagogique développée dans VEMUS est centrée sur une *partition musicale étendue*, qui facilite le processus d'apprentissage de l'instrument en fournissant des formes nouvelles de feedback. Pour utiliser une métaphore, la *partition musicale* se comporte comme un *miroir* visuel et sonore, destiné à favoriser la prise de conscience du jeu instrumental.

Pour partie, le feedback est fournit à l'élève sous forme d'une partition annotée, incluant notamment du texte, des formes graphiques, des *emoticons*, des annotations manuelles et des annotations sonores. Cette approche, initialement développée dans le cadre du projet IMUTUS [5], a été étendue pour inclure également diverses représentations du jeu instrumental sous la forme de courbes graphiques (fréquences, sonagramme, enveloppe, etc.) qui viennent s'insérer entre les systèmes de la partition. En outre Vemus introduit des formes de feedback sonore en temps réel via des processus de traitement audio placés sur la partition.

### 2.1. Approches existantes

Les premières approches pour visualiser la musique et le jeu instrumental ont été développées il y a une dizaine d'années. Appliqué au piano MIDI, relié au symbolisme de la partition, Smoliar [20] propose en 1995, un système de représentation de l'interprétation musicale à des fins pédagogiques. Dynamique, tempo, articulation et synchronisation entre les mains sont graphiquement mis en regard de la

<sup>1</sup> IST-27952

<sup>2</sup> IST-2001-32270

partition. Les limitations du système sont essentiellement dues aux limitations des données MIDI.

Plus récemment, les évolutions technologiques ont permis le développement d'approches appliquées en temps réel à des instruments acoustiques, que ce soit pour l'analyse du jeu instrumental ou pour sa représentation. La question du *feedback* dans le domaine musical s'en est trouvée revivifiée [10].

Un certain nombre de travaux récents proposent des visualisations en temps réel de caractéristiques sonores, directement extraites du signal, qui sont cependant déconnectées de la partition musicale. Dans le domaine de la voix chantée, des représentations spectrales, des formes d'ondes, des courbes de fréquences et des rapports d'énergie sont utilisés dans un contexte pédagogique [9] [21]. Dans un même esprit mais sans cibler un instrument particulier, McLeod [14] propose des représentations en temps réel de la hauteur, d'harmoniques, d'enveloppes.

Des représentations plus symboliques sont également proposées, principalement pour des besoins d'analyse [7] [8] [13], et plus récemment pour le travail instrumental [3].

L'étude et la représentation de l'expression et de l'émotion musicale constituent également un domaine d'investigation. La visualisation y est envisagée en terme de formes et de couleurs [6] [2].

Enfin, dans le domaine de l'éducation musicale, il y a très peu de travaux portant sur le feedback sonore en temps réel : appliquées au style instrumental, des expérimentations s'inscrivant dans la métaphore du miroir ont été conduites avec de jeunes enfants [1], enfin les recherches présentées récemment par Ferguson [4] proposent une application pédagogique en terme de *sonification* de la performance musicale.

## 2.2. Une partition étendue

Le concept de partition étendue a été initialement développée dans la cadre du projet IMUTUS [17]. L'idée de base, qui est de renforcer l'efficacité du travail instrumental en fournissant un feedback structuré immédiatement accessible après chaque exécution, adapté au niveau de chaque élève, est mise en oeuvre par le module d'évaluation qui va détecter les erreurs, en construire une liste par ordre de priorité et renvoyer un feedback spécifique sous forme d'annotations de la partition et de commentaires. La partition musicale a donc été étendue par un jeu d'annotations pouvant inclure aussi bien des formes graphiques (rectangles, ovales, lignes, flèches) que du texte.

Dans le cadre du projet VEMUS, la partition s'est enrichie de nouvelles annotations : en plus des formes graphiques et du texte, la partition inclut maintenant des "*emoticons*", des annotations manuelles (dessinée avec un stylet sur Tablet PC), des annotations audio et des processus audio temps réel (voir figure 1).

Les "*emoticons*" peuvent être utilisés pour attirer l'attention de l'élève sur un point particulier, ou encore pour communiquer une intention d'interprétation [11]. Les annotations manuelles sont une commodité à la disposition de l'élève ou du professeur et s'inscrivent naturellement dans les pratiques existantes d'annotation de la partition musicale. Nous reviendrons sur les annotations et processus audio dans la section 2.4.

## 2.3. Représentation objective du jeu instrumental

La représentation objective du jeu instrumental consiste à *annoter* la partition avec des courbes graphiques extraites du signal sonore par différentes techniques d'analyse. Ces courbes peuvent illustrer un paramètre sonore particulier, comme la hauteur, l'enveloppe des notes, leur stabilité, le spectre, les déviations temporelles. Elle peuvent également combiner plusieurs caractéristiques du son ainsi qu'illustré par la figure 2.

Ces objets graphiques ont pour but de rendre visible des caractéristiques du son ou du jeu instrumental qui pourraient être difficile à décrire uniquement de manière orale. Ces courbes constituent ainsi un outil supplémentaire à la disposition du professeur, pour communiquer des idées musicales ou des corrections. Elles permettent également de se substituer aux commentaires du professeur en son absence, lors du travail personnel, et relayer virtuellement ces commentaires jusqu'à l'élève par un rappel de forme. Enfin, ces courbes peuvent également servir de base à la comparaison objective de différentes interprétations de la musique, entre le modèle du professeur et la réalisation de l'élève par exemple.

## 2.4. Miroir sonore

Le concept de partition étendue inclut également les aspects sonores. Le système enregistre le travail de l'élève et établit automatiquement la correspondance entre cet enregistrement et la partition musicale. Celle-ci sert alors d'interface utilisateur pour accéder à l'enregistrement : l'élève peut réécouter ce qu'il vient de jouer, se déplacer dans l'enregistrement en utilisant la partition, ou encore écouter une seule note ou une partie de l'enregistrement avec un simple clic de souris. En quelque sorte, la partition est étendue en forme de *miroir sonore*.

De nouveaux éléments de feedback sonore sont également intégrés à la partition sous forme d'annotations : ce sont les processus audio temps réel (voir figure 1, *freeverb* et *écho*). Ces processus sont activés dans le temps de l'exécution, pour modifier le signal sonore en temps réel et appliquer par exemple des algorithmes de filtrage ou des transformations de l'espace sonore. Le musicien pourra ainsi être plongé aussi bien dans l'univers de la musique interactive que dans un milieu sonore aux propriétés éducatives.

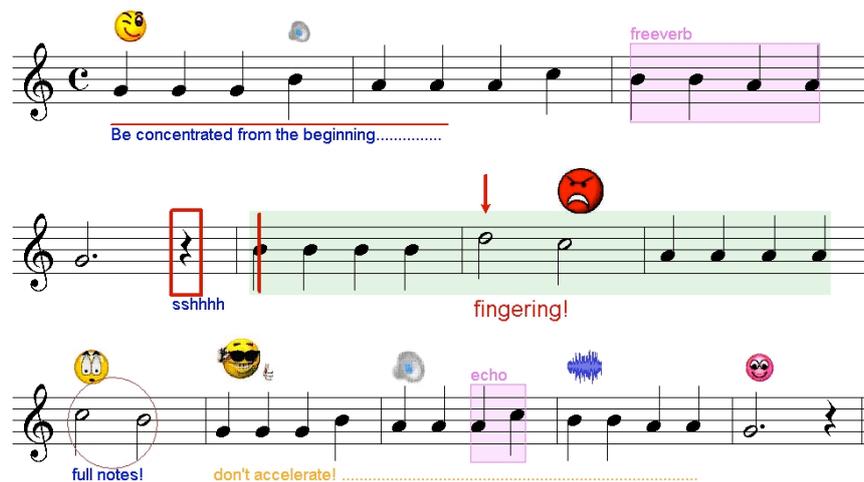


Figure 1. Une partition annotée.

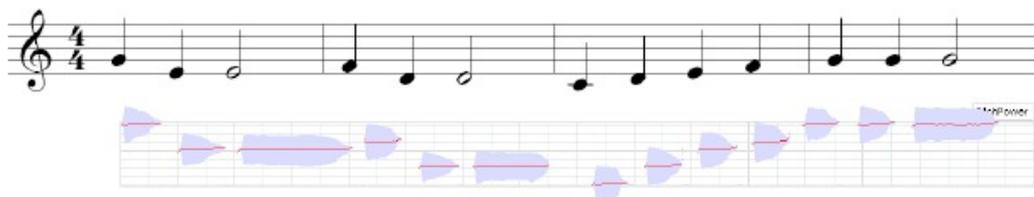


Figure 2. Une courbe combinant hauteur et enveloppe.

Enfin la partition inclut également des annotations audio, qui constituent le moyen d'associer un fichier audio arbitraire à une position temporelle de la partition. Ces annotations sont destinées à insérer des commentaires du professeur, ou encore des extraits musicaux (pour illustrer un passage difficile par exemple, ou pour en donner plusieurs interprétations).

## 2.5. Expérimentations

Les expérimentations dans le cadre du projet VEMUS n'ont pas encore eu lieu. Néanmoins, celles menées par le projet IMUTUS se sont révélées prometteuses. IMUTUS a été expérimenté dans 3 écoles de musique suédoises, auprès d'élèves âgés de 9 à 14 ans. Les élèves ont été répartis par leurs professeurs en 2 groupes, un groupe de contrôle et un groupe de travail avec IMUTUS. Chaque élève du groupe IMUTUS avait un équivalent en niveau dans le groupe de contrôle. Le travail effectué durant les 3 semaines d'évaluation ne différait pas du cursus normal d'enseignement. Enfin les élèves faisant partie du groupe de contrôle enregistreraient leur séances de travail sur mini-disque.

L'ensemble des enregistrements des 2 groupes a été évalué par IMUTUS. En plus des données sonores collectées, des questionnaires étaient soumis aux élèves

et aux professeurs à l'issue de chaque semaine.

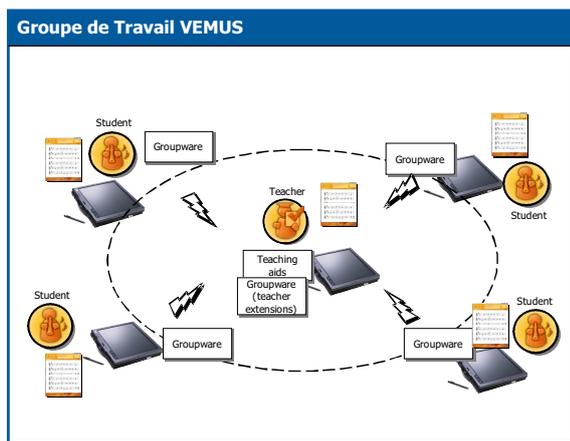
Les résultats ont montré une différence significative entre le groupe IMUTUS et le groupe de contrôle. D'après l'évaluation des professeurs et pour le groupe IMUTUS :

- l'amélioration a été stable durant les 3 semaines d'expérimentation et l'effet positif sur les capacités musicales persiste même un mois plus tard,
- les élèves ont montré une confiance beaucoup plus grande dans leur expression instrumentale.

Enfin le commentaire d'un élève révèle une dimension non intentionnelle du feedback renvoyé par le système : "C'était amusant. J'ai pu penser un peu par moi-même sans avoir le professeur dans le dos, cela me rend un peu nerveux. Les commentaires fournis par le système n'ont pas de tendance ou d'inflexion particulière et je peux les interpréter par moi-même."<sup>3</sup>. La machine est perçue comme impartiale, sa neutralité facilite la réflexion, l'analyse et l'autocritique de l'élève [15]. Il s'agit d'un point important, faisant généralement partie des lacunes du travail instrumental : le manque d'analyse autocritique chez les jeunes élèves.

Les technologies développées par VEMUS en terme de feedback visent clairement à combler ce *vide pédagogique* qui apparaît lorsque l'élève est livré à lui

<sup>3</sup> commentaire fait par un élève âgé de 12 ans



**Figure 4.** Organisation d'un groupe de travail équipé de Tablet PC

même [16], entre deux leçons, lors du travail à la maison.

### 3. LES FONCTIONNALITÉS GROUPE DE TRAVAIL

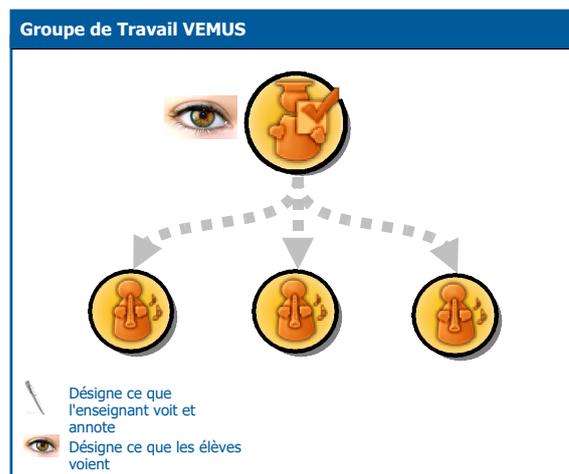
VEMUS s'appuie sur une approche que l'on pourrait qualifier d'*enactive* du processus d'apprentissage. Les fonctionnalités *groupe de travail* se situent dans cette perspective. Elles visent à renforcer les interactions et les boucles de feedback qui prennent naturellement place dans le cadre de la classe de musique et à en proposer de nouvelles (voir figure 3). Elles visent également à prolonger à la maison le travail réalisé en classe.

Comme on va le voir dans les scénarios qui suivent, le principe général est d'utiliser la partition musicale comme un espace de travail partagé. Deux ou plusieurs participants peuvent par exemple simultanément annoter une même partition qui devient de fait un lieu d'interaction et de communication pour le groupe. Par exemple l'enseignant peut ajouter des commentaires manuscrit ou des commentaires audios directement sur la partition de l'élève.

#### 3.1. Constitution des groupes

Le dispositif est prévu pour de petits groupes de travail, typiquement un enseignant et de un à quatre élèves (voir figure 4). Le groupe est créé par l'enseignant, qui en est ainsi l'administrateur. Il fait parvenir aux élèves les "invitations" nécessaires pour intégrer le groupe.

Un groupe peut également être constitué à l'initiative d'un élève, ceci afin de permettre l'utilisation de toutes les facilités de VEMUS à la maison, en famille ou avec des amis.



**Figure 5.** Situation de démonstration, la partition et les opérations du professeur sont reproduites sur les postes des élèves

La mobilité des Tablet PC WiFi facilite le fonctionnement du groupe et ajoute à la convivialité du dispositif.

#### 3.2. Scénarios d'utilisation

Les facilités de travail en groupe ont été conçues suivant différents scénarios d'utilisation. Ils correspondent à des situations pédagogiques assez typiques. Nous les présentons brièvement ci-dessous.

##### 3.2.1. La démonstration

Ce scénario correspond à une situation classique où l'enseignant veut s'adresser à l'ensemble de la classe (voir figure 5). Pour cela il connecte, via son interface de contrôle, l'ensemble des Tablet PC des élèves en lecture sur son propre poste de travail. Dès lors, toutes les opérations qu'il fait sont automatiquement transmises et reproduites sur les postes élèves. Il peut en particulier, annoter sa partition, en jouer des portions, montrer des courbes, etc. ce qui va lui permettre d'illustrer son propos de manière très concrète. Les annotations manuscrites ou audio, les mouvements de curseur, les sélections, l'écoute sont reproduits de façon à donner à l'élève l'illusion de regarder directement le Tablet PC de l'enseignant.

##### 3.2.2. Le dialogue

Dans ce deuxième scénario l'un des élèves joue en face du professeur qui va ensuite commenter son interprétation (voir figure 6). Pour ce faire le professeur se connecte au poste d'un élève en lecture écrite. Cela lui permet d'accéder à la partition de l'élève et de suivre son interprétation.

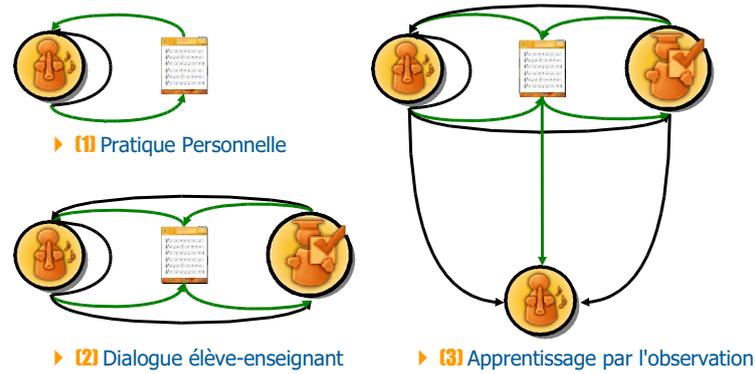


Figure 3. Renforcement des interactions et des boucles de feedback qui prennent place en classe

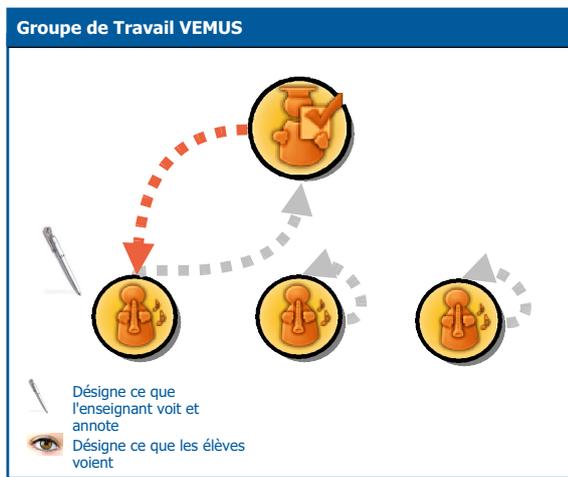


Figure 6. Situation de dialogue entre le professeur et l'élève.

Une fois l'exécution de l'élève terminée, l'enseignant va pouvoir la commenter en accédant à la partition et à l'enregistrement de l'élève. Il peut ainsi faire réécouter à l'élève des passages tout en lui donnant des explications orales et/ou écrites. Si besoin est, il peut également lui montrer des courbes d'analyse qui illustrent son propos.

Les annotations du professeur sont sauvegardées côté élève. Ils peuvent donc être réexaminés à tout moment par l'élève, une fois rentré à la maison par exemple.

### 3.2.3. Apprendre en regardant

Ce scénario est une variante du précédent où le reste de la classe peut assister au dialogue entre l'enseignant et l'élève (voir figure 7). Cela correspond à l'idée d'apprendre en regardant d'autres apprendre.

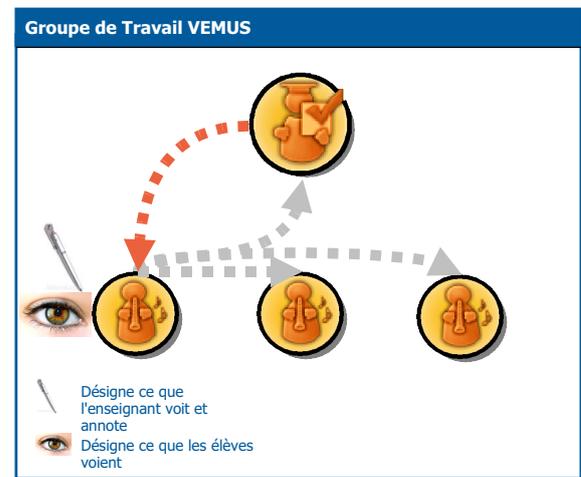


Figure 7. Apprendre en regardant d'autres apprendre.

Via son interface de contrôle, l'enseignant se connecte en lecture-écriture au poste de l'élève. Il y connecte également le reste de la classe, mais en lecture seule. Toutes les actions de l'enseignant sur la partition de l'élève sont transmises via le réseau et reproduites sur l'ensemble des postes.

### 3.3. Principes d'implémentation

La réalisation des scénarios précédents suppose des mécanismes de partage et de synchronisation de l'information que nous allons décrire brièvement.

L'implémentation est basée sur un schéma MVC (Model-View-Controller) distribué (voir figure 8). Il existe un grand nombre d'interprétations de ce schéma. La notre est assez proche de la vision Smalltalk [12].

Le modèle correspond à l'état du système. Il existe à la fois sur disque et (en partie) en mémoire. Il re-

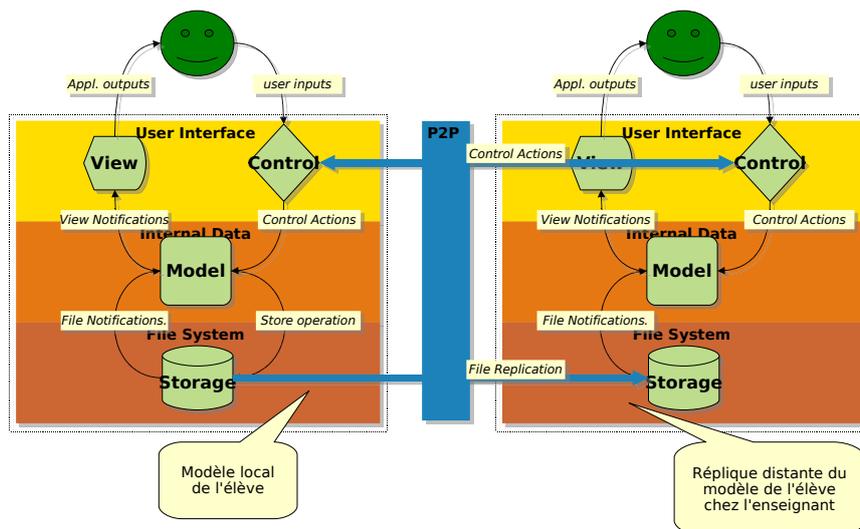


Figure 8. Relations entre le modèle de l'élève et sa réplique chez l'enseignant dans une situation de *dialogue*

groupe la partition de l'utilisateur, les annotations, les enregistrements des performances et un ensemble d'analyses qui en rendent compte.

La *vue* est chargée de représenter le *modèle*, tant dans le domaine visuel que dans le domaine audio. Des systèmes de calques permettent de superposer les annotations et les courbes sur la partition. Des séquenceurs audio et MIDI se chargent du rendu sonore. Des greffons audio pouvant être activés et désactivés dynamiquement

Enfin le *contrôleur* a pour mission de traduire les actions de l'utilisateur (souris, clavier, stylet, etc.) en opérations sur le *modèle*. Celles-ci vont déclencher les ré-affichages nécessaires au niveau de la *vue*. *Vue* et *contrôleur* forment ensemble l'interface utilisateur du système.

Plutôt que d'opérer directement sur le *modèle*, le *contrôleur* code toutes ces opérations sous la forme d'*actions* qui sont ensuite passées au *modèle*, où elles sont décodées et exécutées. L'intérêt de ce codage intermédiaire est de pouvoir stocker, manipuler et surtout transmettre ces actions.

Les actions sont l'un des deux mécanismes de synchronisation entre partitions partagées. L'autre mécanisme est un système de partage de fichiers sans serveur. Ces deux mécanismes sont implémentés au dessus de la couche P2P de Microsoft.

Pour illustrer le fonctionnement du système, prenons le cas du scénario du dialogue présenté figure 8. L'élève rend public son modèle. L'enseignant souscrit au modèle distant de l'élève. Chaque action effectuée par l'élève sur son propre modèle local donne lieu à une action transmise sur le réseau. Tous les postes qui ont souscrit à ce modèle, notamment le poste

de l'enseignant, effectuent l'action en provenance du réseau de façon à garder la synchronisation. De la même manière, chaque action effectuée par l'enseignant sur sa copie du modèle distant de l'élève donne lieu à l'émission d'une action sur le réseau. Le poste de l'élève la répercute sur son propre modèle.

En jouant ainsi sur la publication et la souscription de modèles, en définissant précisément quelles actions sont transmises ou pas sur le réseau, il est possible d'implémenter tous les scénarios retenus pour le projet.

#### 4. CONCLUSION

Les différentes technologies développées dans le cadre du projet Vemus, en particulier les technologies *réflexives* et *collaboratives* que nous avons brièvement présentées ici, vont prochainement rentrer dans une phase d'évaluation et de validation. Cette phase, très importante, du projet fait appel à de nombreux groupes d'utilisateurs, repartis sur 6 pays européen. Ces groupes associent élèves, enseignants et personnels administratifs de conservatoires et d'écoles de musique.

Les résultats de cette phase de validation et d'évaluation vont nous permettre d'affiner nos hypothèses et nos choix technologiques. Ils vont nous permettre également de mesurer l'impact du dispositif sur la progression des élèves. Les résultats très encourageant observés avec Imutus serviront de point de repère.

## 5. REFERENCES

- [1] Anna Rita Adessi and François Pachet. Experiments with a musical machine : musical style replication in 3 to 5 year old children. *British Journal of Music Education*, 22(1) :21–46, 2005.
- [2] Roberto Bresin. What is the color of that music performance? In *Proceedings of the International Computer Music Conference*, pages 367–370. ICMA, 2005.
- [3] S. Ferguson, A.V. Moere, and D. Cabrera. Seeing sound : real-time sound visualisation in visual feedback loops used for training musicians. In *Information Visualisation, 2005. Proceedings. Ninth International Conference on*, pages 97–102. IEEE, July 2005.
- [4] Sam Ferguson. Learning musical instrument skills through interactive sonification. In *Proceedings of the 2006 International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME06)*, pages 384–389. IRCAM, June 2006.
- [5] D. Fober, S. Letz, Y. Orlarey, A. Askenfeld, K. Falkenberg Hansen, and E. Schoonderwaldt. Imutus - an interactive music tuition system. In *Proceedings of the first Sound and Music Computing conference - SMC'04*, pages 97–103. IRCAM, 2004.
- [6] A. Friberg, E. Schoonderwaldt, P. Juslin, and R. Bresin. Automatic real-time extraction of musical expression. In *Proceedings of the International Computer Music Conference*, pages 365–367. ICMA, 2002.
- [7] Rumi Hiraga and Noriyuki Matsuda. Visualization of music performance as an aid to listener's comprehension. In *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*, pages 103–106, May 2004.
- [8] Rumi Hiraga, Reiko Mizaki, and Issei Fujishiro. Performance visualization : a new challenge to music through visualization. In *Proceedings of the tenth ACM international conference on Multimedia*, pages 239–242, December 2002.
- [9] David M. Howard. Technology for real-time visual feedback in singing lessons. *Research Studies in Music Education*, (24) :40–57, 2005.
- [10] Andrew Johnston, Shigeki Amitani, and Ernest Edmonds. Amplifying reflective thinking in musical performance. In *Proceedings of the 5th conference on Creativity & cognition*, pages 166–175, April 2005.
- [11] Patrick N. Juslin and Roland S. Persson. Emotional communication. In *The Science and Psychology of Music Performance*, pages 219–236. Oxford University Press, 2002.
- [12] Glenn E. Krasner and Stephen T. Pope. A cookbook for using the model-view controller user interface paradigm in smalltalk-80. *J. Object Oriented Program.*, 1(3) :26–49, 1988.
- [13] J. Langner and W. Goebel. Visualising expressive performance in tempo-loudness space. *Computer Music Journal*, 27(4) :69–83, 2003.
- [14] Philip McLeod and Geoff Wyvill. Visualization of musical pitch. In *Computer Graphics International 2003*, 2003.
- [15] Stephanie Pitts. 'testing, testing...' how do students use written feedback? *Active learning in higher education*, 6(3) :218–229, 2005.
- [16] Stephanie Pitts, Jane Davidson, and Gary McPherson. Developing effective practise strategies : case studies of three young instrumentalists. *Music Education Research*, 2(1) :45–56, 2000.
- [17] S. Raptis, A. Chalamandaris, A. Baxevanis, A. Askenfeld, E. Schoonderwaldt, K. Falkenberg Hansen, D. Fober, S. Letz, and Y. Orlarey. Imutus - an effective practicing environment for music tuition. In *Proceedings of the International Computer Music Conference*, pages 383–386. ICMA, 2005.
- [18] Erwin Schoonderwaldt, Anders Askenfelt, and Kjetil Falkenberg Hansen. Imutus - an interactive system for learning to play a musical instrument. In *Proceedings of the International Conference of Interactive Computer Aided Learning (ICL)*, 2004.
- [19] Erwin Schoonderwaldt, Anders Askenfelt, and Kjetil Falkenberg Hansen. Design and implementation of automatic evaluation of recorder performance in imutus. In *Proceedings of the International Computer Music Conference*, pages 431–434. ICMA, 2005.
- [20] Stephen W. Smoliar, John A. Waterworth, and Peter R. Kellock. pianoforte : a system for piano education beyond notation literacy. In *Proceedings of the third ACM international conference on Multimedia*, January 1995.
- [21] Graham F. Welch, David M. Howard, Evangelos Himonides, and Jude Brereton. Real-time feedback in the singing studio : an innovatory action-research project using new voice technology. *Music Education Research*, 7(2) :225–249, July 2005.