



## *Virtualis*, opéra interactif

**Alain Bonardi**

Université de Reims  
alain.bonardi@wanadoo.fr

**Francis Rousseaux**

Université de Reims  
francis.rousseau@univ-reims.fr

### Résumé

Dans cet article, nous présentons le projet d'opéra interactif sur CD-ROM *Virtualis*. Ce projet comporte une dimension scientifique aussi bien qu'artistique. Notre réflexion sur l'interaction entre un utilisateur et des contenus opératiques nous a conduits à utiliser des modèles de relations entre entités fondés sur des forces physiques, dont l'utilisateur est en quelque sorte absent. Nous détaillons quelques aspects de cet environnement de lecture mais aussi d'écriture sur des contenus artistiques complexes, entre texte, musique et graphiques.

**Mots-clefs** : opéra, interactivité, générativité, modèles de l'interaction.

## 1. Principes de *Virtualis*

### 1.1. Introduction

*Virtualis* est un opéra interactif sur support informatique (CD-ROM) que nous développons à la fois comme projet artistique de création et comme projet de recherche dans le domaine de l'interaction musicale homme-machine. Il offre à un spectateur la possibilité de jouer non pas à l'opéra – il ne s'agit pas d'une reconstitution en réalité virtuelle d'une œuvre du passé ou d'une salle lyrique existante –, mais bien avec l'opéra, c'est-à-dire d'interagir avec des contenus lyriques. Dans le cas d'un opéra numérique tel que *Virtualis*, ces derniers recouvrent des textes (parlés ou chantés), des fragments musicaux et sonores, ainsi que des éléments graphiques.

### 1.2. Principes artistiques

L'opéra interactif s'inscrit dans la lignée des œuvres ouvertes proposées par les compositeurs dans les années cinquante et soixante. En 1957, Pierre Boulez (né en 1925) dans sa *Troisième Sonate* pour piano et Karlheinz Stockhausen (né en 1928) dans son *Klavierstück XI*, proposent au pianiste des possibilités d'enchaînements variables entre des sections clairement écrites : l'instrumentiste, en appliquant des règles combinatoires posées par le

---

<sup>1</sup> Pour l'instant, *Virtualis* n'offre pas de possibilités de « jeu d'opéra » en réseau.



compositeur, peut proposer des parcours différents dans l'œuvre d'une exécution à l'autre. Mais un autre compositeur, André Boucourechliev (1925-1998) va plus loin que la simple articulation de contenus pré-définis : dans *Archipel IV* (1971) pour piano, il propose au musicien de constituer dynamiquement la musique elle-même, en associant des schémas mélodiques à des schémas rythmiques en temps réel.

Ces œuvres mettent d'une certaine façon l'auditeur hors-jeu. En effet, elles offrent aux interprètes des possibilités de renouvellement de leur rapport à l'œuvre, tandis que le compositeur pressent une nouvelle façon d'écrire, qui insiste plus sur des processus à déployer que sur des contenus à jouer fidèlement. L'auditeur ne se sent pas concerné par ce style d'écriture, qu'il percevra difficilement, sachant qu'il faudrait écouter l'œuvre plusieurs fois pour en percevoir le renouvellement.

Dans l'opéra *Votre Faust* (1968), le compositeur Henri Pousseur et l'écrivain Michel Butor ont tenté de proposer des modalités d'interaction permettant au public d'infléchir le cours de l'histoire. Malheureusement, cette œuvre n'a pu être créée dans des conditions correctes et les moyens d'expression mis à disposition du public (vote, interventions à voix haute, etc.) ont suscité un vaste désordre, qui a définitivement éloigné l'œuvre des scènes lyriques.

Les formes ouvertes « traditionnelles » sont tombées en désuétude. Nous pensons que l'informatique multimédia peut permettre de redonner vie à ce genre, en le transformant au profit de l'auditeur et au détriment du musicien interprète : le premier va pouvoir manipuler des contenus musicaux que le second se contentera d'enregistrer, étant dessaisi de ces possibilités d'intervention. De plus, de notre point de vue, il est important d'affirmer que le CD-ROM peut être le support d'une œuvre musicale à part entière, et pas seulement du commentaire d'une musique comme le sont de nombreux titres multimédia.

## 2. Modèles de l'interactivité dans *Virtualis*

### 2.1. Principes généraux

Nous avons commencé notre formalisation par une modélisation de la représentation d'opéra en nous appuyant sur une méthode inspirée des sciences de l'organisation et notamment de MADEINCOOP [Zacklad 1993, Rousseaux 1995]. Ces travaux nous ont permis de dresser les listes des tâches, des agents (humains/machines), les modèles de résolution collective de problème, de communication et de coordination pour les deux situations de représentation -opéra traditionnel dans une salle lyrique, opéra interactif où le spectateur fait face à l'ordinateur [Bonardi 2000]. Nous présentons maintenant les principes d'interactivité que nous avons retenus :

- nous cherchons une interactivité qui ne se dirait pas comme telle. Les liens et icônes se déploient habituellement pour désigner l'interactivité et ses lieux. Nous souhaitons mettre au point des processus fluides où il est implicitement proposé à l'utilisateur d'intervenir, s'il le souhaite. S'il ne le fait pas, l'œuvre continue sa trajectoire, selon des données de base et



selon ce que l'ordinateur a mémorisé des parcours antérieurs. Il s'agit ainsi de ne pas interrompre le flux de l'œuvre, mais plutôt de l'orienter.

- comme dans toute application interactive, il se pose la question de la prise en compte de l'intention de l'utilisateur et de son couplage à la réponse de la machine. Dans *Virtualis*, nous avons essayé de mettre en œuvre un modèle non psychologique : les motivations et le comportement de l'utilisateur ne sont pas modélisés. Ce dernier est considéré comme un élément extérieur qui peut agir sur le système autonome que constitue l'œuvre interactive sans être explicitement pris en compte dans sa complexité psychologique. Pour ce faire, nous avons élaboré un modèle fondé sur des forces physiques.

L'opéra interactif *Virtualis* propose trois types de scène :

- des tableaux offrant des interactions ludiques sur des dialectiques de l'opéra. Ainsi, dans le tableau intitulé « Les mots et la mer », des rochers représentent des mots alors que la mer représente la musique, et selon le niveau d'eau, ajusté par l'utilisateur, les mots parlés sont plus ou moins altérés, leur contenu sonore étant progressivement transformé en contenu musical. Nous ne reviendrons pas plus avant sur ces tableaux dans cet article.
- des scènes de transition intitulées « parcours de la musique » qui donnent l'occasion au joueur d'évoluer dans un univers tri-dimensionnel où la musique est représentée sous forme de métaphores graphiques, permettant à l'utilisateur d'interagir avec des contenus musicaux associés à des objets tri-dimensionnels. Nous présenterons ces scènes au paragraphe 2.2.
- des scènes de transition intitulées « le Récit », qui sont des courts moments narratifs interactifs entre les personnages. Ce sont les passages pour lesquels nous avons développé le modèle physique sur lequel nous reviendrons en détail au paragraphe 2.3.

## 2.2. Les « parcours de la musique »

Les « parcours de la musique » sont des transitions entre tableaux. Elles peuvent intervenir ou non, selon un choix aléatoire, entre ces derniers. Leur principe demeure toutefois identique à chaque fois, bien que les musiques qui y prennent part varient. Trois fonctions principales sont proposées à l'utilisateur :

- « Errer » à travers la musique, en se promenant dans un espace géométrique qui en représente certaines propriétés, dans un univers où désormais musique et paysage se confondent.
- Modifier la musique, représentée sous forme d'objets graphiques qu'il peut manipuler.
- S'orienter vers telle ou telle autre séquence musicale.

Examinons tout d'abord les principes de la « promenade » dans les contenus musicaux. L'utilisateur, en quelque sorte fixé à la caméra qui nous permet de voir le paysage, « vole » comme un oiseau dans une vaste cage cubique, dont l'idée provient de l'univers du surprenant



film *Cube*<sup>2</sup>, réalisé par Vincenzo Natali (1999). Cet espace est occupé par des objets musicaux représentés par des volumes tri-dimensionnels plus ou moins cachés, aux formes variées. Ces objets sont des fragments musicaux monodiques ; ils peuvent par exemple provenir de l'éclatement d'un morceau polyphonique en lignes individuelles. La figure 1 montre une vue de dessus du dispositif.

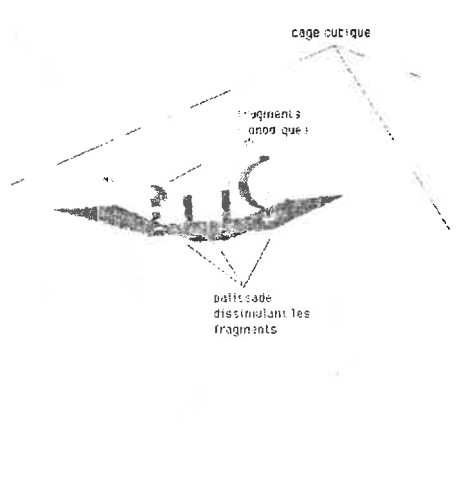
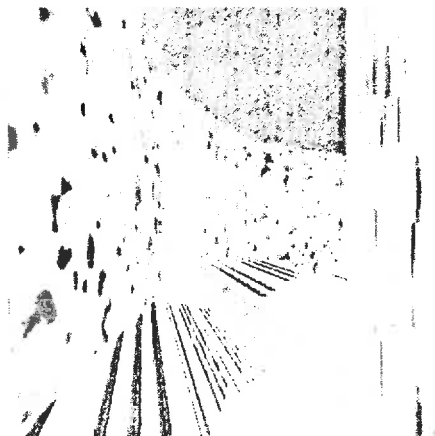


Figure n° 1. Vue de dessus (en plongée) du dispositif des « parcours dans la musique ». L'utilisateur peut descendre et s'approcher d'un des quatre fragments monodiques, qu'il peut parcourir en détail.

Les musiques associées à ces objets sont jouées en boucle, chacune ayant sa propre longueur, ce qui conduit à un décalage permanent entre elles. Les fichiers sonores se mélangent, mais les intensités relatives dépendent de la distance et de la position de l'utilisateur par rapport aux entités graphiques qui les représentent. Lorsqu'il se trouve à l'intérieur d'un volume associé à un objet musical, l'utilisateur peut décider de s'intéresser plus spécifiquement à lui. Par une commande, il choisit de se laisser porter par la musique, c'est-à-dire qu'il n'est plus libre de ses mouvements, mais est entraîné par le flot de la musique à travers l'objet qui la représente. La figure 2 ci-dessous montre un exemple de parcours dans un objet tri-dimensionnel ayant la forme d'un tunnel, associé à une mélodie jouée au piano.



<sup>2</sup> Dans ce film, un groupe de personnages se réveille dans un univers constitué de salles cubiques qui recèlent des pièges. Ils sont en quelque sorte prisonniers de la géométrie.



Figure n° 2. Déplacement au rythme de la musique à l'intérieur d'une représentation d'un fragment monodique.

Pour confectionner ces parcours, nous avons tout d'abord créé une application nommée ALMA [Bonardi & Rousseaux 2000], qui permet d'associer des objets graphiques à des contenus musicaux, de créer des variations mélodiques sur un objet donné et d'implémenter des interactions. Dans la version MIDI, l'utilisateur peut non seulement modifier des paramètres macroscopiques comme le tempo, le volume de restitution sonore, ou la position (panoramique) du son sur l'échelle stéréo de gauche à droite, mais aussi générer des variations structurales qui modifient les contenus joués. L'utilisateur choisit un fragment monodique associé à un objet graphique, et demande à l'ordinateur d'en générer des variations. Le système utilise le principe de recouvrement d'une entité mélodique par les motifs qui la composent [Baboni-Schilingi 1998].

### 2.3. Le « Récit »

Le « Récit » met en scène deux personnages, un homme et une femme, racontant une histoire donnée articulée en très courts « moments ». La question est de savoir comment rendre ce « Récit » interactif, et donc de choisir un modèle d'interaction pertinent. Nous avons choisi un modèle physique, utilisant des forces équivalentes à la force d'attraction électrique et les champs de forces associés, en reliant, involontairement ou non, conjonctions amoureuses et conjonctions particulières voire conjonctions planétaires<sup>3</sup>, l'histoire ne disant pas si la pomme d'Isaac Newton avait le même goût que celle que croquèrent Adam et Eve.

Ce récitatif se déroule à l'écran dans un espace clos, où évoluent les deux personnages. Notre idée est celle d'un duo plus « chorégraphique » que « théâtral ». En effet, le point de vue de la danse, où le mouvement crée l'expression s'accorde bien au modèle physique retenu qui s'intéresse aux positions et vitesses. Nous préférons utiliser des poses sur des mouvements précis qui seront soit utilisées telles quelles, soit montées avec une certaine vitesse pour donner de courtes animations qui alterneront avec des phases statiques. Il s'agit d'intégrer ces aspects visuels au modèle de forces qui régit le « Récit ».

Les forces physiques sont exercées d'une part par chacun des deux personnages, d'autre part par des attracteurs situés en dehors de l'écran, produisant des champs de force supposés constants s'exerçant sur les personnages<sup>4</sup>. L'utilisateur/spectateur dispose des possibilités suivantes :

- Il peut d'une certaine façon diriger les chanteurs, en choisissant de donner un départ à l'un des deux chanteurs, en cliquant sur son icône. Mais il ne suffit pas de cliquer une fois, il faut régulièrement relancer le personnage dans son chant et son jeu, faute de quoi ce dernier s'estompe peu à peu visuellement et sur le plan sonore.

<sup>3</sup> Rappelons que les forces électrique entre deux particules chargées et la force de gravitation entre deux planètes ont des expressions analogues en  $\frac{1}{r^2}$ .  $r$  étant la distance entre les deux entités en présence.

<sup>4</sup> Sur le détail du modèle d'interaction, nous renvoyons le lecteur au paragraphe suivant.



- Il peut déplacer l'un des deux chanteurs, ce qui peut provoquer la modification de ce que celui-ci chante et le déplacement de l'autre chanteur.
- Il peut choisir un élément de décor menant à un autre court « moment » du « Récit » (sinon, par défaut, l'ordinateur se rendra au « moment » suivant) selon un principe de forces physiques qui sera explicité au paragraphe suivant.
- Il peut bifurquer vers un autre tableau.

Toute la dynamique du tableau est fondée sur le calcul en temps réel des forces et la mise à jour de la position et du chant des deux personnages. Nous supposons pour ce faire que quatre forces du type des forces électriques ou de gravitation s'exercent. Chaque personnage est donc modélisé par quatre « charges » ou « masses » que nous pourrions qualifier d'« affectives », placées selon quatre axes : aspiration à la tendresse, audace / résignation, égoïsme et jalousie. Elles expriment soit une grandeur positive, équivalent d'une masse, soit une grandeur (positive) et une nature (positive/négative), ce qui équivaut à une charge. Ces axes sont invariants, mais le poids de chacun des personnages sur chacun des axes change selon le moment du « Récit ».

Les interactions possibles concernent :

- l'attraction / répulsion entre ces deux personnages ;
- l'attraction / répulsion entre chacun des personnages et les forces extérieures.

La figure 3 ci-dessous montre les différents champs de forces et forces qui s'exercent sur la scène représentée par un rectangle. Les forces  $F_{21}$  et  $F_{12}$  sont respectivement celle qu'exerce l'homme sur la femme et son opposé.  $G_1$  et  $G_2$  quant à eux représentent des champs de forces s'exerçant sur les deux personnages selon les quatre « masses » ou « charges » que nous avons évoquées.

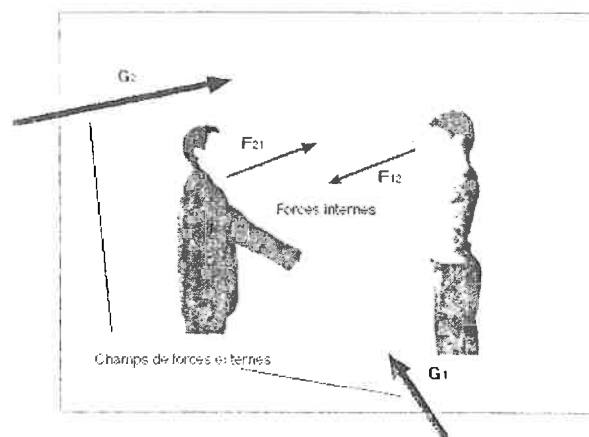


Figure n° 3. Forces internes et externes s'exerçant sur les personnages.



Pour ajuster les positions des deux personnages, l'ordinateur résout pour chacun d'eux l'équation fondamentale de la dynamique. L'algorithme d'Euler est utilisé deux fois pour une double intégration qui permet de calculer les coordonnées des deux modèles.

Le modèle de forces régit également la variation du texte et de la musique. D'une certaine façon, comme en danse, le mouvement crée l'expression. Chaque séquence chantée a donné lieu à plusieurs variantes à la fois du point de vue du texte et du point de vue de la musique. Les variantes textuelles ont été obtenues par glissement sémantique progressif sur un thème, en allant soit des sentiments intérieurs du personnage vers l'extérieur, soit dans l'autre sens. Sont ainsi constitués des axes sémantiques  $AS_i$  sur lesquels les forces extérieures au personnage auquel l'axe est associé ont plus ou moins de prise, selon un coefficient  $\alpha_i$ , compris entre 0 et 1<sup>5</sup>.

Donnons l'exemple d'un moment dramatique qui se passe à la campagne. La thématique se résume en quelques phrases :

L'homme et la femme passent l'après-midi à la campagne.

L'homme aime ce lieu ; la femme s'ennuie. L'homme veut rester. La femme ne sait pas ce qu'elle veut. Elle soupçonne de ne pas être la première à venir avec l'homme en ce lieu.

L'écran présente une gradation de gauche à droite : du plus campagnard à ce qui est le plus urbain, le tout rassemblé sur le même ruban qui peut défiler, selon l'endroit où se situent les personnages.

La figure 4 présente deux exemples d'axes sémantiques empruntés par les personnages.

---

<sup>5</sup> En fait, ces coefficients sont des cosinus d'angles compris entre 0 et 90 degrés, indiquant la direction de l'axe sémantique concerné, et permettant donc de calculer le produit scalaire des vecteurs unitaires de chaque axe avec chacune des forces.



Figure n° 4. Deux axes sémantiques (à gauche, pour la femme ; à droite pour l'homme).

Par le même procédé sont constitués des axes musicaux, AM<sub>j</sub>, de la mélodie initiale à sa variation la plus éloignée, également sensibles aux champs de forces extérieurs selon un coefficient  $\beta_j$ . Ces axes sont orthogonaux aux précédents, donc indépendants des niveaux sémantiques. L'ensemble articulé selon deux dimensions constitue donc un réseau musico-textuel, dont nous donnons un exemple ci-dessous, avec l'axe sémantique « elle me plaît aujourd'hui » croisé des variantes musicales. Pour chaque phrase (par exemple « tu as mis le haut que j'aime ») ont été composées (à « la main » ou avec l'aide de l'ordinateur, en utilisant l'environnement OpenMusic, logiciel du forum Ircam) plusieurs variations regroupées selon un axe vertical et classées de la moins à la plus passionnée.



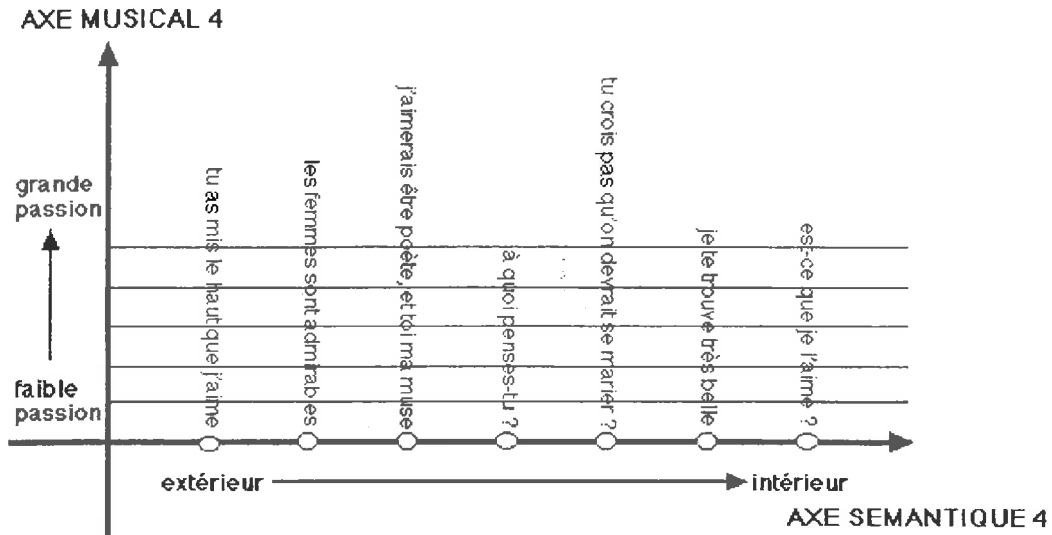


Figure n° 5. Exemple de réseau musico-textuel.

Voici par exemple (figure 6) trois réalisations musicales de la même phrase confiée au soprano (« moi, je vais tout lui raconter ») :

Figure n°6. Trois exemples de réalisation d'une phrase confiée au soprano.

L'orientation de ce réseau, et notamment le choix d'une progression plutôt selon le texte ou la musique est donné par une variable globale  $V$ , sur laquelle l'utilisateur peut agir à tout moment, comme le montre la figure 7.

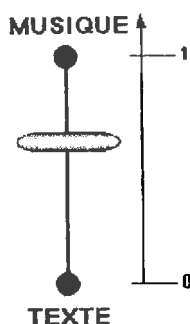


Figure n° 7. Curseur de réglage des influences des champs de forces extérieures entre texte et musique.

Cette variable varie entre 0 (tout texte) et 1 (tout musique). A tout moment l'axe musical  $AM_j$  où se trouve l'utilisateur dans le réseau, déjà doté du coefficient  $\beta_j$ , est pondéré par  $\gamma$  et l'axe sémantique  $AS_i$ , déjà affecté du coefficient  $\alpha_i$ , par  $(1 - \gamma)$ .

Du point de vue de la réalisation, les différents fragments musicaux du réseau ont été enregistrés par une soprano et un ténor<sup>6</sup>. L'accompagnement des chanteurs a été généré par ordinateur grâce au logiciel de synthèse par modèle physique Modalys (logiciel du forum Ircam). Il est fondé sur des nappes sonores conçues pour fonctionner en fondu-enchaîné lors des changements de climat imposés par les changements de position des personnages et donc des changements de phrases chantées.

Ces modèles physiques mettent directement en relation les entrées gestuelles provoquées par l'utilisateur (mouvements de la souris, etc.) et l'actualisation des contenus. Contrairement aux modèles d'inspiration psychologique, ils abandonnent l'ambition de constituer un niveau supérieur d'interprétation des phénomènes physiques détectés. Ils ne tentent pas d'établir des faits déduits de ces actions, puis de décider de la réaction à apporter à ces faits « calculés », ce qui pose inévitablement le problème de l'interprétation conduisant à devoir expliciter le modèle de la machine pour qu'il adapte son comportement à elle.

## Conclusion

Nous avons présenté le projet d'opéra interactif Virtualis et les modèles physiques d'interaction que nous avons été amenés à développer dans ce cadre. Pour l'utilisateur, ils constituent une activité originale de lecture, d'appropriation et d'écriture de « documents » lyriques, où l'absence de modèle psychologique suscite une relation singulière à une machine dont il ne s'agirait plus de deviner comment elle prend en compte l'utilisateur. Pour le créateur multimédia, les modèles de forces conduisent à une conception informatique qui n'est plus procédurale, mais, à l'instar de la programmation par contraintes, est fondée sur la définition de cadres interactifs au sein desquels l'ordinateur propose des solutions renouvelées d'une utilisation à l'autre.

<sup>6</sup> Nous voudrions remercier ici Sylvie Robert et Eric Gourouben.



## Références

- [Baboni-Schilingi 1998] BABONI-SCHILINGI, Jacopo, *Composition par modèles interactifs, systèmes génératifs et applications informatiques*, Mémoire de DEA, Formation doctorale Musique et Musicologie du XXe siècle, 1998.
- [Barrière 1988] BARRIERE, Jean-Baptiste, « L'informatique musicale comme approche cognitive : simulation, timbre et processus formels », in *La musique et les sciences cognitives*, Liège, Mardaga, 1988, pp. 181-202.
- [Bonardi 2000] BONARDI, Alain, *Contribution à l'établissement d'un genre : l'Opéra Virtuel Interactif*, thèse de l'Université Paris IV, 2000.
- [Bonardi & Rousseaux 2000] BONARDI, Alain et ROUSSEAUX, Francis, *Alma, un environnement de « métaphorisation » de la musique*, Journées d'Informatique Musicale 2000 (JIM 2000), 15-18 mai 2000, Université Bordeaux I, Bordeaux (France), actes du colloque, pages 162-170.
- [Bonardi & Rousseaux 1999] BONARDI, Alain et ROUSSEAUX, Francis, *Virtualiser l'opéra virtuel*, Journées ReViCo - Réalité Virtuelle et Cognition, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de Paris (France), 14-15 décembre 1999, actes du colloque, pp. 21-31.
- [Bonardi & Rousseaux 1998] BONARDI, Alain et ROUSSEAUX, Francis, *Premiers pas vers un opéra interactif*, Journées d'Informatique Musicale 1998, Agelonde (France), 4-7 mai 1998, Publication du Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique du CNRS n°148, pages A4-1 à A4-7.
- [Hoos & Hamel 1997] HOOS, Holger et HAMEL, Keith, *The GUIDO Music Notation Format Version 1.0 – Specification Part 1 : Basic GUIDO*, Darmstadt (Allemagne) : Technical Report 20/97 du Département Informatique de l'Université Technique de Darmstadt, accessible à l'URL : <http://www.informatik.tu-darmstadt.de/AFS/CM/GUIDO/docu/spec1.htm>.
- [Jorion 1990] JORION, Paul, *Principes des systèmes intelligents*, Paris, Masson, 1990, 188 p.
- [Poizat 1986] POIZAT, Michel, *L'opéra ou le cri de l'ange*, Paris, Editions A.M. Métailié, 1986.
- [Rousseaux 1990] ROUSSEAUX, Francis, *Une contribution de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage symbolique automatique à l'élaboration d'un modèle d'enseignement de l'écoute musicale*, Thèse de doctorat de l'Université Paris 6, 1990.
- [Rousseaux 1995] ROUSSEAUX, Francis, *Contribution à une méthodologie d'acquisition des connaissances pour l'ingénierie des Systèmes d'Information et de Communication : l'exemple de CHEOPS pour l'aide à la gestion de crises collectives à caractère géopolitique*, thèse d'habilitation à diriger des recherches, Université Paris VI, Paris, 1995.
- [Zacklad 1993] ZACKLAD, Manuel, *Principes de modélisation qualitative pour l'aide à la décision dans les organisations : méthode d'utilisation du logiciel d'acquisition des connaissances C-KAT*, thèse de doctorat, Université de Compiègne, 1993.

