



HAL
open science

Image de synthèse temps réel pour la performance augmentée dans le spectacle vivant. Une interface de conception et de contrôle à base de calques physiques

Christian Jacquemin, Georges Gagneré

► To cite this version:

Christian Jacquemin, Georges Gagneré. Image de synthèse temps réel pour la performance augmentée dans le spectacle vivant. Une interface de conception et de contrôle à base de calques physiques. Imad Saleh; Djef Regottaz. Interfaces numériques, Hermès, pp.135-152, 2007, Information, hypermédias et communication, 978-2-7462-1695-2. hal-04580389

HAL Id: hal-04580389

<https://hal.science/hal-04580389v1>

Submitted on 19 May 2024

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Image de synthèse temps réel pour la performance augmentée dans le spectacle vivant

Une interface de conception et de contrôle à base de calques physiques

Christian Jacquemin* — Georges Gagneré**

* *LIMSI-CNRS et Université Paris 11*
BP 133
91402 Orsay Cedex
Prénom.Nom@limsi.fr

** *Compagnie Incidents Mémorables*
20, rue Sadi Carnot
93300 Aubervilliers
gg@didascalie.net

RÉSUMÉ. L'utilisation d'images de synthèse spatialisées pour le spectacle vivant est ici abordée sous l'angle de la réalité augmentée : l'enrichissement de l'espace scénique par des éléments manipulables et ancrés dans la géométrie du plateau. Après avoir décrit les objets interactifs réalisés dans le cadre de La Pluralité des Mondes, nous proposons une interface de construction de vidéo-scénographies 3D interactives adaptée à l'augmentation de la performance des acteurs telle que définie par Sparacino.

ABSTRACT. This paper reports on the use of interactive 3D graphics for live performances. Through an augmented reality approach, the stage is equipped with interactable elements that are bound to the stage geometry. After a description of the virtual scenic elements that were built for La Pluralité des Mondes, we turn to the definition of an interface for the construction of interactive 3D videoscenography. The interface is well-adapted to the design of augmented actor performance as defined by Sparacino.

MOTS-CLÉS : Spectacle vivant, Réalité augmentée, Vidéo-Scénographie interactive

KEYWORDS: Live performance, Augmented reality, Interactive videoscenography

1. Performance augmentée et régie numérique

Le théâtre connaît, comme tous les secteurs du spectacle vivant, une évolution vers les technologies numériques au niveau de la conception, de la répétition et de la conduite des spectacles. Ces changements impliquent une redéfinition du jeu des acteurs, du rôle des régisseurs, de la fonction des metteurs en scène et de la relation avec le public. Ces changements sont aussi importants que l'apport de la machinerie scénographique à la fin du 19^{ème} siècle. Ils font du théâtre une entreprise technologique et artistique pour laquelle l'outil doit se plier au service d'un argument dramaturgique, d'un jeu d'acteur et d'une expression artistique. Pour que cette technologie soit pertinente elle doit être à la fois discrète (on ne doit pas percevoir les artéfacts technologiques comme des substituts à l'expression théâtrale) et puissante (elle doit faciliter la conception d'un spectacle et renforcer l'expression dramaturgique).

Parmi les technologies numériques dont peut bénéficier le théâtre, nous nous intéressons ici à l'image de synthèse 3D interactive. Il s'agit de composantes géométriques tridimensionnelles, manipulables par un acteur, et pouvant être projetées sur des supports variés. La mise en œuvre de scènes virtuelles interactives est longue et complexe car elle implique l'ajustement de nombreux paramètres géométriques, lumineux et temporels. Par ailleurs, le metteur en scène doit pouvoir remettre en cause la structure vidéo-scénographique au cours des répétitions et jusqu'à des échéances très proches du spectacle final afin d'asservir la scénographie à la dramaturgie de la pièce. Il faut donc un environnement géométrique interactif flexible et adaptable malgré sa lourde structure. Sur le plan de l'accessibilité, le plus grand nombre possible de paramètres doit être disponible lors de la mise au point d'un spectacle mais, en contrepartie, la conduite du spectacle définitif doit être la plus sobre possible afin de ne focaliser l'attention du régisseur que sur la synchronisation des composantes scénographiques.

Ces contraintes, dont certaines sont contradictoires, demandent de mettre à disposition des scénographes, metteurs en scène, acteurs et régisseurs, des outils de conception, d'affinement et de contrôle efficaces pour la réalisation des éléments numériques dans un spectacle vivant, en particulier pour la géométrie 3D interactive.

Cet article débute par une analyse de mises en scène ayant fait appel aux technologies de l'image de synthèse interactive, à travers laquelle nous dégageons trois grandes tendances : les décors virtuels, les acteurs virtuels et la performance augmentée (section 2). Ensuite, en nous appuyant sur une expérience de mise en scène d'un recueil de Jacques Roubaud, *La Pluralité des Mondes*, par la compagnie *Incidents Memorables*¹ dirigée par Georges Gagneré, nous dégageons une structure générique pour la composition de scènes 3D interactives pour la performance augmentée (section 3). Cette structure nous conduit à proposer une interface de conception et de contrôle de ces éléments sous forme de calques physiques animés qui peut servir dans toutes les phases de la mise au point d'un spectacle (section 4). Nous revenons ensuite vers les scènes 3D réalisées pour *La Pluralité*, afin de montrer comment elles s'instancient

1. <http://www.incidentmemorables.org>

et <http://www.didascalie.net/tiki-index.php?page=pano-cim-Pluralite>

dans cette interface. Une implémentation de ces scènes dans l’outil de rendu 3D interactif *Virtual Choreographer* est enfin proposée en se focalisant sur la structure des scènes virtuelles, leur évolution temporelle et la synchronisation avec les composantes audio et les informations envoyées par les capteurs de l’acteur (section 5).

2. La virtualité interactive dans le théâtre contemporain

L’informatique graphique interactive qui est maintenant disponible sur des machines de bureau standard avec des cartes graphiques à faible coût, demandait des investissements importants jusqu’à la fin des années 90 et ne se trouvait donc que dans des entreprises ou des centres universitaires assez importants. Les premières expériences sur l’utilisation de ces technologies dans le théâtre remontent au début des années 90 et ont débuté en collaboration avec des centres de recherche. Elles ont coïncidé avec l’essor des équipements immersifs de réalité augmentée tels que les CAVE™. Ces équipements étaient par nature mal adaptés au spectacle vivant parce que limités à un petit nombre de spectateurs et demandant le suivi temps réel de leur position. Certaines expériences sur la virtualité au théâtre ont fait usage de dispositifs immersifs individuels (des casques de réalité virtuelle), mais le coût de ces équipements et leur intrusivité en ont limité l’usage. L’image virtuelle au théâtre, tout comme la vidéo, ont essentiellement été apportées par projection directe ou par rétroprojection.

Sous une technologie assez standard, les propositions artistiques et scientifiques pour l’utilisation de l’image de synthèse sont cependant assez diverses et nous proposons de les classer selon trois familles non exclusives : les décors virtuels, les acteurs virtuels et la performance augmentée. Nous nous focalisons dans cette étude uniquement sur les expériences artistiques de l’image 3D interactive ayant donné lieu à des publications savantes, afin de pouvoir en analyser précisément le contenu scientifique.

2.1. Décors virtuels

Une façon assez « naturelle » d’utiliser l’image de synthèse au théâtre consiste à générer un décor virtuel qui simule l’immersion dans un lieu réel ou fictif ; nous l’appelons un *décor de simulation*.

Cette approche se situe dans la tradition du théâtre classique où les décors peints évoquent des paysages, des habitations, des lieux urbains... À la différence de cette tradition, le décor de simulation offre de nouvelles possibilités en raison de son évolution temporelle : on peut, par exemple faire voyager les acteurs entre plusieurs lieux rejoignant alors l’utilisation de la vidéo comme moyen de suggérer le déplacement. Ainsi dans les *Nouveaux clowns* [HAC 03], les acteurs effectuent un parcours dans un vaisseau spatial où la ville survolée est rendue par un maillage 3D de bâtiments (figure 1, image de gauche).

Les décors virtuels servent aussi à évoquer des lieux impossibles, absurdes (par exemple avec des propriétés physiques irréalistes comme dans [CAV 05]) ou futuristes

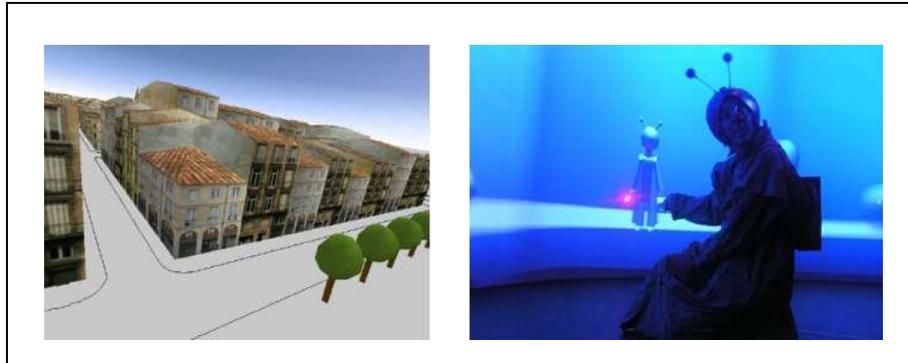


Figure 1. *Les Nouveaux clowns : survol d'un décor réaliste et décor futuriste avec personnage interactif [HAC 03].*

comme dans le spectacle précédent où les clowns atterrissent sur une autre planète. L'interactivité est également exploitable dans ce type de décor virtuel pour donner aux acteurs la possibilité de désigner, modifier, déplacer ou détruire des éléments de ce décor afin d'augmenter l'illusion de la présence des personnages dans ce décor.

Comme analysé par Oliver Grau [GRA 03], ce que nous nommons le décor de simulation rejoint les dispositifs d'immersion réalisés par les *panoramas* de la fin du 19^{ème} siècle qui visaient à plonger les spectateurs au cœur de grandes batailles historiques et qui connurent un succès populaire considérable.

Dans une approche plus psychologique que les décors de simulation, les décors virtuels sont utilisés pour retranscrire une réalité présente ou distante qui reflète une vision subjective de la scène en cours par les personnages. Ainsi, Mark Reaney, dans *The Adding Machine* présenté en 1995, compose un décor virtuel avec des films vidéos des personnages à des échelles variées ou dans des expressions différentes de celles qu'ils présentent sur scène pour nous faire accéder à la psychologie des personnages et à leur perception subjective du monde [REA 00]. Nous qualifions cette approche de *décors de subjectivité* ; elle rejoint les techniques cinématographiques visant à retranscrire par des modes de prise de vue ou des effets spéciaux des visions intérieures de la réalité.

Un dernier emploi des décors virtuels pour le théâtre ne concerne pas le spectacle mais la scénographie, et repose sur l'utilisation de techniques de modélisation interactive. Nous appelons cela les *décors de maquettage* et ils permettent la conception collaborative d'une scénographie par le biais de visualisations interactives des scènes animées et la manipulation d'interfaces tangibles pour la mise en place des éléments de cette scénographie [BRO 04]. L'aide à la réalisation de contenus artistiques interactifs n'est pas la seule cible de ce type d'application qui peut s'étendre à d'autres domaines tels que la gestion de crise, la gestion de conflits, le théâtre militaire... Elle s'éloigne

de la notion de performance mais intéresse la mise en scène en offrant des techniques de simulation qui peuvent raccourcir les temps de production d'un spectacle.

2.2. Acteurs virtuels

L'utilisation de l'informatique dans la simulation de situations collectives impliquant des utilisateurs et des acteurs virtuels a conduit à développer des recherches sur les agents animés pour la reproduction de comportements humains raisonnés et affectifs. Comme pour les décors, on remarque deux approches dans l'utilisation de ces avatars pour le spectacle vivant. Une approche assez littérale qui vise à en faire des alter ego virtuels des acteurs physiques, nous les appelons des *personnages virtuels* et une approche plus subjective et distanciée qui utilise les acteurs virtuels comme des vecteurs d'amplification ou de révélation de certaines facettes des personnages, nous les nommons *media personnages*.

Selon les œuvres artistiques dans lesquels ils sont utilisés, les acteurs virtuels se situent dans un large spectre que l'on peut ordonner en fonction de l'autonomie et de l'« intelligence » des personnages qu'ils représentent : depuis des *marionnettes virtuelles* fortement asservies et manipulées en temps réel par des acteurs physiques généralement équipés de capteurs [Ani, CAL 04] jusqu'aux *acteurs de synthèse* avec une forte flexibilité temporelle et des capacités d'apprentissage permettant de les utiliser dans des situations d'improvisation [MEY 04]. Dans le projet *Virtual Theater*, les acteurs de synthèse sont définis par leurs traits de caractères, par leur psychologie et par leur comportement social [ROU 98]. Ayant des personnalités variées, ils présentent une large gamme de comportements les rendant aptes à jouer des rôles sans devoir suivre des scripts prédéfinis. Les acteurs de synthèse peuvent être employés pour simuler des comportements humains hors du champ artistique, par exemple en situation d'apprentissage. Le théâtre ne sert alors que de métaphore d'une vie sociale, sans être la véritable raison d'être des travaux [KLE 01].

Hors de ce paradigme de personnages virtuels, les hyper-acteurs de [PIN 97] ou les média-acteurs de [SPA 00], se focalisent sur l'augmentation du jeu de l'acteur, faisant de lui une sorte de cyborg dont les capacités expressives sont augmentées par l'utilisation de média numériques. Dans les deux cas, les acteurs virtuels qui complètent et augmentent le jeu scénique ne sont pas de simples avatars d'humanoïdes, mais des éléments symboliques dont l'expressivité langagière ou graphique s'articule avec les actions en cours. Flavia Sparacino qui a travaillé sur plusieurs types de spectacles vivants propose, pour le théâtre, des acteurs typographiques virtuels qu'elle appelle *consciencés dialogiques* des personnages joués par les acteurs physiques (figure 2). Ils sont modélisés par trois couches : le contenu, la perception et un composant chorégraphique basé sur la personnalité. L'état émotionnel du média-acteur modifie son énergie, sa rapidité de réaction et surtout ses choix de comportements parmi un ensemble de compétences basiques prédéfinies.



Figure 2. Média-acteur jouant la conscience d'un personnage [SPA 00].

2.3. La performance augmentée

Décors et acteurs virtuels présentés précédemment sont des domaines de convergence sans réelle déstabilisation de l'approche du théâtre par le biais des technologies numériques. A contrario, le troisième domaine que nous présentons maintenant est plus intéressant parce qu'il oblige à repenser la scénographie et le médium informatique.

Les recherches de Sparacino se situent à l'articulation entre la virtualité (elle utilise des acteurs virtuels avec une certaine autonomie) et l'augmentation (elle vise principalement à l'augmentation de la performance et de l'espace scénographique par une analyse des gestes et des mouvements) :

What motivates our understanding of human movement and gestures with the aid of technology is the possibility of transforming the stage in an organic interplay of form, color, text, images, movements, expressive gestures, in which the human is one among the "actors" on the scene. [SPA 99]

Comme dans cette vision de la scène, l'utilisation de techniques de réalité augmentée qui effacent la frontière entre le monde physique et les composants virtuels est également au cœur de certaines installations artistiques immersives. Il s'agit de travaux se situant au croisement des arts de la scène, de la performance et des arts plastiques comme *Desert Rain* [KOL 01]. On parle alors plutôt de réalité mixte tant les composantes réelles et virtuelles sont imbriquées pour converger vers un argument scénographique complet combinant projection d'éléments virtuels, performeurs fantomatiques surgissant dans des scènes immersives, objets physiques manipulant des médias numériques, parcours des spectateurs dans des décors visuellement et physiquement réalistes...

Dans le spectacle vivant, la virtualité est souvent vue comme un monde autonome : elle ne questionne pas la confrontation entre une narration physique et une narration

virtuelle, elle vise à re-produire un univers avec ses propres lois, ses acteurs, son déterminisme. A contrario, l'augmentation prend en charge l'espace physique et ses acteurs humains... et, de ce fait, interactivité, réponse, dialogue, intégration, complémentarité et révélation sont au cœur de l'augmentation. L'augmentation doit reposer sur une étude sociale et psychologique précise de la personnalité et du comportement, une analyse de la perception et de l'action, et une compréhension de la fonction symbolique des objets, de leurs usages et de leurs pouvoir.

3. Augmentation par image de synthèse 3D interactive dans *La Pluralité*

C'est dans une approche de la performance augmentée que se situe le travail de collaboration entre le département de Communication Homme Machine au *LIMSI-CNRS* et la compagnie de théâtre *Incidents Mémorables* réalisé dans le cadre de la pièce *La Pluralité des Mondes*.² Dans cette section, nous nous focalisons sur les composantes mises en place en rendu 3D interactif, en insistant sur la connexion avec la captation des gestes et mouvements de l'acteur et sur l'analyse de la structure de ces composantes.

Les éléments visuels présentés ici participent à la réalisation d'un environnement de performance augmentée pour un acteur seul muni de capteurs : principalement deux capteurs de flexions aux coudes et un capteur de pression dans chaque main pour les déclenchements. Les objets virtuels 3D sont conçus pour s'adapter à la géométrie de l'espace scénique : deux écrans à angle droit (voir figure 3). Ils sont manipulés en temps réel par l'acteur pour augmenter sa force expressive et donner un contenu symbolique à l'environnement scénique. Les formes géométriques choisies ont une signature comportementale intuitive : elles évoquent des objets dont les propriétés physiques et réactives sont connues (voile, stores et groupes d'individus principalement).

Trois environnements vidéo-scénographiques ont été réalisés en synthèse 3D dans *La Pluralité* :

- 1. Un voile de pluie animé texturé avec une vidéo.** L'acteur déforme le voile (une surface de Bézier) en élongation et en torsion, puis il le relâche en fin de scène.
- 2. Une foule de mots.** L'acteur conduit une foule de mots animés dans la direction choisie et modifie son rythme de déplacement.
- 3. Un magma puis un store aquatique animé texturé avec une vidéo.** Le volume de la voix de l'acteur contrôle les vibrations du magma. Après la disparition du

2. *La Pluralité des Mondes* est un pièce qui repose sur un recueil de poèmes de Jacques Roubaud. Elle a été donnée à La Filature (Mulhouse) en décembre 2005 avec Georges Gagneré, metteur en scène, Christophe Caustier, acteur, Patrice Cros, vidéo, Tom Mays, son, Guy Levesque, régisseur, Pedro Soler, vidéo. Ce spectacle a bénéficié du soutien de La Filature, du DICREAM, de la Direction Régionale des Affaires Culturelles d'Alsace (DRAC Alsace) et de la SPEDIDAM.

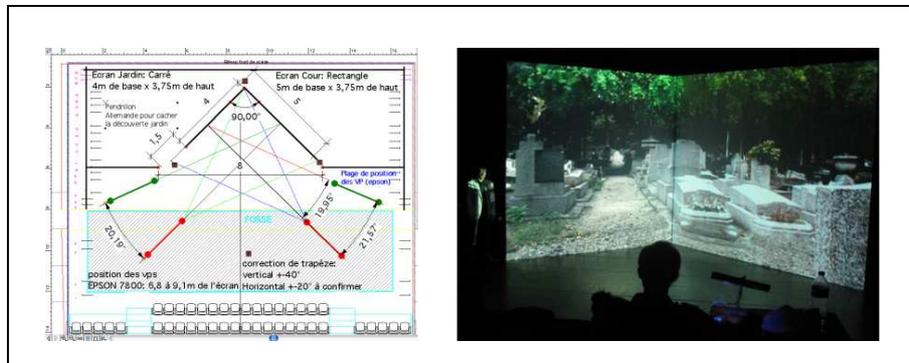


Figure 3. Espace scénique de *La Pluralité*, scène de *La Filature*, Mulhouse, déc. 2005.

magma, les capteurs de flexions lui servent à déplacer le store dans l'espace, avec ouverture et fermeture.

On s'intéresse essentiellement aux objets 1 et 3 qui ont de nombreux points communs (figure 4) et pour lesquels nous faisons une analyse structurale puis une proposition de représentation générique.

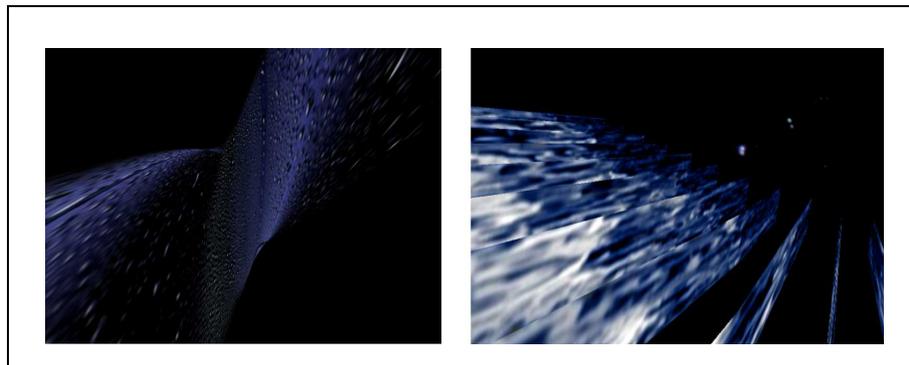


Figure 4. Deux objets 3D de *La Pluralité* : le voile de pluie et le store aquatique.

De décors à accessoires virtuels

Le statut scénographique du voile, du magma et des stores est intermédiaire entre celui d'accessoires (des objets que l'on manipule afin d'instrumenter certaines actions) et celui de décors (des éléments graphiques fixes ou animés évoquant des lieux). Le voile de pluie est plutôt décor en début de scène puisqu'il est plat, tendu sur les murs comme une pluie ruisselante, mais il devient progressivement accessoire et instrument lors de sa prise en main par l'acteur. Il en va de même pour le magma et les stores progressivement transformés en accessoires dans leurs interactions avec l'acteur.

Les métaphores de tissu, de plaques flexibles ou de stores conviennent bien puisque ces objets peuvent passer d'une position plane comme un décor plaqué sur un mur, à une déformation animée sous le contrôle de l'acteur. Comme indiqué ci-dessus, le mode de manipulation de tels objets est suffisamment intuitif pour donner au spectateur rapidement les clés du contrôle scénographique. Cette immédiateté permet de mobiliser l'attention du spectateur non sur la découverte de la corrélation entre le jeu de l'acteur et les effets sur les objets 3D, mais sur l'augmentation de la force de l'expression par la déformation de ces objets.

Transparence pour la composition et la profondeur

Une fonctionnalité clé de ces objets 3D est leur transparence permettant de voir un objet en arrière-plan au travers d'un objet en avant-plan, soit parce que celui-ci est semi-transparent (le magma) soit parce qu'il est discontinu (le store). La transparence donne donc accès à la composition visuelle et à la profondeur de la scène (en terme de superposition plutôt que de perspective).

Anamorphose pour la prise en charge de l'espace physique dans le rendu

L'anamorphose est la déformation d'une image (ici le rendu d'une scène 3D dans une projection en perspective) afin de corriger ou d'accentuer la distorsion due à la surface de projection et à la position du spectateur par rapport à celle-ci. L'anamorphose est une technique ancienne³, qui trouve un regain d'intérêt dans la vidéoprojection et dans les capacités des cartes graphiques. Elle est utilisable dans de nombreux contextes dont le spectacle vivant, le design, les installations artistiques, le patrimoine... mais elle dépend de la position de l'observateur lorsqu'elle est utilisée pour un effet de trompe-l'œil. En revanche si elle est utilisée pour plaquer une image sur une surface, comme la correction de trapèze, la position de l'observateur n'a pas à être prise en compte.⁴

L'anamorphose est utilisée pour deux finalités dans *La Pluralité*. D'une part, dans un effet de *trompe-l'œil*, elle sert à « effacer » les murs orientés à $\pm 45^\circ$ par rapport à la scène, en déformant l'image selon une perspective inverse.⁵ Elle donne alors au spectateur l'illusion que la projection se fait face à lui. D'autre part, elle est utilisée dans un effet de *placage* pour le changement d'objet en cours de scène comme le passage du magma au store aquatique. Pour cela, l'objet de premier plan — le magma — est

3. L'anamorphose est présente dans le tableau *Les Ambassadeurs français à la cour d'Angleterre* de Hans Holbein le Jeune (1533).

4. La correction de trapèze dans une projection selon un axe non perpendiculaire à l'écran est une anamorphose de l'image source (une homographie), afin que la cible ait une forme rectangulaire proportionnelle à l'image source d'origine.

5. L'anamorphose de suppression de la perspective est obtenue en OpenGL par un rendu vers texture de toute la scène puis par application de cette texture sur une surface non plane (composée de deux plans orientés dans le sens inverse de ceux de la scène).

rendu sur une surface non plane telle qu'un tissu, et ce tissu est écarté pour « dévoiler » l'objet masqué. Comme on le voit dans ces deux exemples, l'anamorphose consiste à prendre une « photo » de la totalité de la scène ou de seulement certains de ses éléments, puis à appliquer cette photo sur une surface non plane. La projection effectuée lors du rendu de la surface texturée produit l'effet de distorsion recherché. Masques et calques étant des textures, les deux peuvent être issus d'images intermédiaires de la scène.

À quoi ressembleraient ces éléments virtuels s'il s'agissait d'objets physiques ?

Afin de motiver la construction de l'interface de conception de ce type d'environnement pour la performance augmentée dans le spectacle vivant (présenté section suivante), donnons une métaphore physique aux trois éléments 3D manipulés dans *La Pluralité* (le rideau de pluie, le magma et le store aquatique). Ces trois éléments sont des objets géométriques avec une physique qualitative (ou naïve) associée : des relations intuitives s'établissent entre ces objets et leurs propriétés par le biais de la perception visuelle :

La perception visuelle, soutient Schapp, nous donne un accès immédiat non seulement aux choses et à leurs couleurs et formes, mais aussi à l'élasticité, à la solidité et à d'autres propriétés dispositionnelles (1910, p. 19). [SCH 10] cité par [SMI 93].

Le rideau de pluie est une surface malléable comme une plaque souple que l'on pourrait tordre ou étirer, le magma est une surface vibrante comme les deux plaques d'un tamis que l'on frotte l'une contre l'autre et le store est une structure rigide composée de lamelles orientables à la façon d'un store vénitien. Ces objets peuvent être superposés, les deux premiers sont partiellement transparents, le dernier est opaque mais sa structure en lamelles permet de voir l'arrière plan à travers les discontinuités de sa structure.

En résumé, l'interface doit permettre de décrire des superpositions d'objets avec des propriétés physiques variées mais intuitives associées, avec des propriétés lumineuses de transparence et d'ajourage, et avec une pigmentation de surface stable (une texture comme pour le tamis du magma) ou changeante (une vidéo comme pour le rideau de pluie ou le store aquatique).

4. Interface à base de calques physiques

Les interfaces traditionnelles pour le modelage, la composition et l'animation de scènes 3D telles que Blender⁶, Maya⁷ ou 3DSMax⁸ sont orientées vers la modélisation

6. <http://www.blender.org/>

7. <http://www.autodesk.com/maya>

8. <http://www.autodesk.com/3dsmax>

d'éléments géométriques complexes et souvent articulés plutôt que déformés. Leurs interfaces mettent trop l'accent sur le raffinement de la géométrie, sur des animations par squelettes et sur des positions dans un vaste espace 3D et pas assez sur la déformation et sur le contrôle externe temps réel. Elles ne sont donc pas bien adaptées à ce que nous voulons décrire. En revanche, les modèles d'interface proposés dans les outils de traitement de l'image tels que Gimp⁹ ou Photoshop¹⁰ correspondent à des superpositions de couches semi-transparentes et sont donc plus proches de ce que nous souhaitons réaliser. Il manque essentiellement un positionnement par couches en 3D et l'attribution de propriétés physiques aux calques ainsi que leur animation temps réel à partir de contraintes issues de capteurs.

En traitement d'image, une composante importante de l'interface est la pile de calques et leurs masques associés (figure 5). L'image résultante d'un travail de traitement d'image est la composition d'un ensemble de calques de transparence variable organisés selon une pile où les calques les plus hauts masquent partiellement ceux qui sont en dessous. La couleur de chaque pixel est calculée de façon récursive à partir du calque le plus bas dans la pile, en remontant vers le haut, et en combinant, à chaque étape, la couleur résultante des n premiers calques avec celle du $n + 1^{\text{ème}}$. Ce mode de description d'une image s'étend au cas de l'image animée dans AfterEffects¹¹ avec des calques qui représentent des texture fixes ou des vidéos et une possibilité additionnelle d'orienter ces calques plans dans un espace 3D.

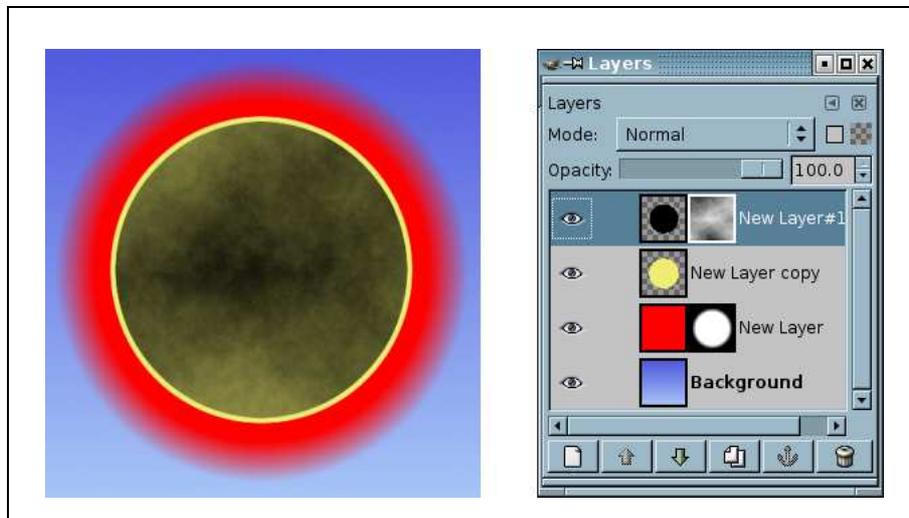


Figure 5. Exemple d'image et de pile de calque et masques associés dans Gimp.

9. <http://www.gimp.org/>

10. <http://www.adobe.com/products/photoshop/>

11. <http://www.adobe.com/products/aftereffects/>

En fonction de l'analyse des objets faite à la section précédente, nous étendons ce paradigme des interfaces à base de calques plans semi-transparentes à des *calques physiques* — donc équipés de propriétés de physique qualitative et d'animations et de contrôles correspondants — disposés en profondeur dans un espace 3D. La texture de chaque calque physique est obtenue par combinaison de propriétés lumineuses, d'images fixes ou de vidéos et de masques. Pour prendre en compte l'anamorphose de l'image finale (pour la prise en charge de la géométrie de la scène) ou des images intermédiaires (pour pouvoir dévoiler des objets plus lointains), les calques peuvent également être texturés par un rendu intermédiaire de la scène. De cette dernière propriété, il s'ensuit que le rendu d'un calque est doublement récursif : (1) comme dans les interfaces de traitement d'image, chaque pixel est une fonction du pixel courant et du pixel calculé sur le calque inférieur, et (2) en raison de la possibilité d'anamorphose, chaque calque peut être la composition des transformations géométriques des calques inférieurs avec sa propre déformation.

Le modèle générique d'interface par calques physiques proposé ici est illustré par la figure 6. Chaque calque est composé d'un nombre arbitraire de couples calques masques¹² et est donc équivalent à une pile de calques dans le modèle d'interface des logiciels de traitement d'image présenté figure 5. Chaque texture ou masque est un bitmap, une vidéo ou un rendu total ou partiel des calques précédents. À chaque calque est associée une forme géométrique avec des propriétés matérielles définissant son rendu éclairé et venant se combiner avec les couleurs issues des textures et de leurs masques.

Pour implémenter les propriétés physiques, la forme géométrique est asservie à un modèle physique, par exemple un modèle de masses-ressorts pour l'animation d'un voile [PRO 95]. Afin de permettre une manipulation des calques par l'acteur, les propriétés intrinsèques du modèle physique ou la position de certains de ses éléments sont contrôlables par les informations issues des capteurs sur l'acteur (ou par toute autre information issue d'une analyse de geste ou de mouvement). Afin d'introduire une récursivité dans les modèles physiques et créer des interdépendances entre les animations des calques, les paramètres d'un modèle physique peuvent être fonction de l'animation d'un autre modèle.

5. Instanciation du modèle sur les composantes 3D de *La Pluralité*

Afin d'illustrer le modèle d'interface générique présenté dans la section précédente sur un cas concret, nous détaillons maintenant la structure de calques physiques pour l'enchaînement des objets magma et store aquatique dans *La Pluralité*. La pile est ainsi structurée en allant du fond vers le sommet de pile (voir figure 7) :

- 1) un fond nocturne plat et statique,
- 2) le store aquatique : des lamelles texturées en vidéo et manipulées par l'acteur,

12. Nous n'en avons fait figurer que deux par calques par souci de simplification.

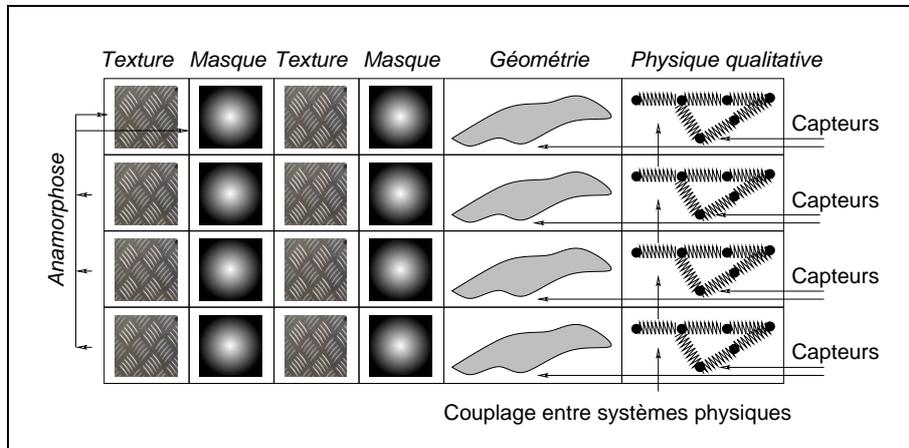


Figure 6. Pile de calques physiques.

3) le magma : deux calques semi-transparents superposés se déplaçant latéralement en fonction de la voix de l'acteur et laissant apparaître le store par transparence,

4) une surface de Bézier texturée par le rendu du magma et ancrée sur un système masse-ressort pour rendre puis jeter le magma comme un voile qu'on enlève,

5) un maillage texturé par l'ensemble de la scène permettant de compenser la perspective par anamorphose.

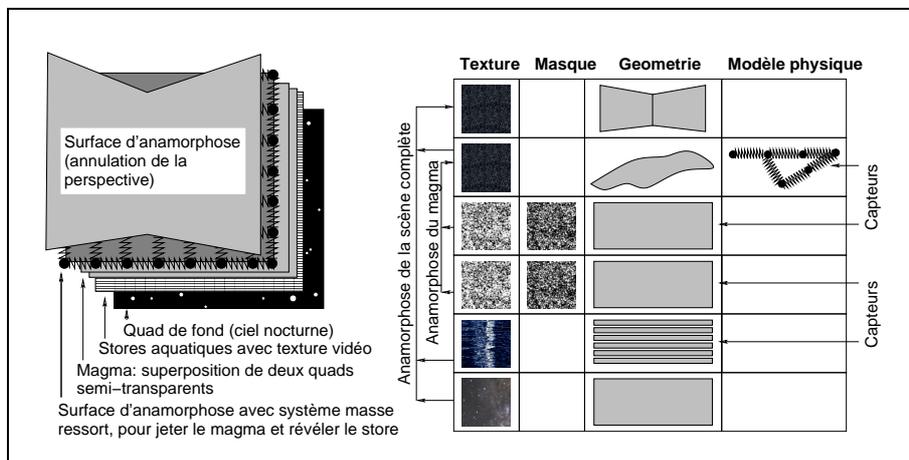


Figure 7. Pile de calques pour le magma et les stores dans *La Pluralité*.

Le modèle d'interface précédent convient donc bien pour la description de ces éléments. Il fait appel à un système masses-ressorts associé à une surface à points de contrôle pour un rendu de tissu sur l'avant-dernier calque. Deux effets d'anamorphose

sont utilisés sur les deux derniers calques : un placage sur l'avant-dernier pour dévoiler le store et un trompe-l'œil sur le dernier pour gommer la perspective des écrans. Le premier correspond à un rendu d'une partie de la scène (le magma) alors que le second repose sur un rendu de la totalité de la scène, y compris le calque d'anamorphose du magma lorsque celui-ci est encore présent.

Ce modèle d'interface est une proposition d'architecture pour la composition de scènes graphiques pour le spectacle vivant, mais il n'a pas été implémenté. Les objets vidéo-scénographiques utilisés dans *La Pluralité* ont été conçus et animés dans *Virtual Choreographer*¹³ (VirChor), un logiciel Open Source pour l'animation et le rendu de scènes 3D interactives développé au LIMSI-CNRS. Ils ont été définis en XML, mais pourraient être obtenus directement par une telle interface par génération automatique de code à partir de la composition réalisée.

La syntaxe de VirChor reprend celle de X3D pour les composantes communes ; elle est enrichie de descriptions complémentaires pour des informations non présentes dans X3D telles que la définition et le paramétrage des shaders ou les modèles physiques. En outre, un langage de scripting est implémenté dans VirChor en XML ; il est cohérent avec la description et le paramétrage des objets 3D. Il permet aisément la connexion avec des capteurs ou un échange d'information pour la synthèse sonore par une communication UDP/OSC avec des logiciels tels que Max/MSP¹⁴ ou PureData¹⁵. Le langage de scripting est également utilisé en interne pour animer une surface de Bézier sur un modèle physique en ancrant, à chaque frame, la surface sur la position courante des masses du système masse-ressort.

Pour qu'une telle interface trouve toute sa portée, outre les développements nécessaires à sa mise en œuvre, il faudra qu'elle soit intégrée dans une architecture logicielle ouverte pour le spectacle vivant. Cette architecture devra également accueillir les applications précitées (Max/MSP, VirChor, PureData), des applications de traitement vidéo temps réel, et offrir de bonnes capacités de connexion avec des interfaces tangibles et des capteurs...

6. Perspectives

Pour conclure, nous insisterons sur deux points : le rôle important de l'anamorphose dans les rendus 3D pour le spectacle vivant et les perspectives applicatives d'un tel environnement au-delà du seul domaine du spectacle vivant.

L'anamorphose permet de prendre en charge la géométrie d'un espace scénique et la position du spectateur dans un rendu vidéo-projeté. Elle permet la correction de déformations indésirables, la simulation de déformations (trompe-l'œil), la manipulation de rendus transformés en objets saisissables (cross-fading « physique » pour passer d'un objet à l'autre par dévoilement), le texturage variable d'objets physiques

13. <http://virchor.sourceforge.net/>

14. <http://www.cycling74.com/products/maxmsp>

15. <http://puredata.info/>

et la mise en abyme et le larsen graphique. Le dévoilement par le rendu d'une partie achevée de la scène sur un voile que l'on jette fait qu'une scène virtuelle devient son propre instrument manipulable par l'acteur. L'ambiguïté objet/représentation crée un trouble référentiel entre l'objet et le décor qui convient parfaitement au cadre d'une performance mixte ou augmentée.

Le nouveau paradigme de description de scènes 3D proposé ici pour les environnements vidéo-scénographiques en synthèse 3D est indépendant de l'outil de rendu et doit permettre aisément le retour en arrière via la reconstitution d'un environnement antérieur pour être exploitable en situation de répétition. Cette interface réactive pourrait aussi s'appliquer au design (présentation de rendus dynamiques via l'anamorphose sur un objet), au patrimoine, au marketing ou à des jeux in situ.

7. Remerciements

Cet article est une version écrite d'une présentation faite à la *Journée Signal Images et Arts* organisée par Pierre Bonton et Guy Demoment le 1er juin 2006 au CNAM, Paris. *La Pluralité des Mondes* a bénéficié du soutien de La Filature, du DICREAM, de la Direction Régionale des Affaires Culturelles d'Alsace (DRAC Alsace) et de la SPEDIDAM.

8. Bibliographie

- [Ani] « Animação : Marionnettes Virtuelles Mario.net/IRIT », <http://www.numericircus.net/>.
- [BRO 04] BROLL W., GRÜNOGEL S., HERBST I., LINDT I., MAERCKER M., OHLENBURG J., WITTKÄMPER M., « Interactive Props and Choreography Planning with the Mixed Reality Stage », RAUTERBERG M., Ed., *Proceedings Third International Conference Entertainment Computing (ICEC 2004), Lecture Notes in Computer Science Vol. 3166 / 2004*, Springer-Verlag, Heidelberg, 2004, p. 185–192.
- [CAL 04] CALLESEN J., « Virtual puppets in performance », *Proceedings of the International Symposium Marionette : Metaphysics, Mechanics, Modernity*, Copenhagen University, 2004.
- [CAV 05] CAVAZZA M., LUGRIN J.-L., CROOKS S., NANDI A., PALMER M., RENARD M. L., « Causality and Virtual Reality Art », *Fifth International Conference on Creativity and Cognition (C&C '05)*, New York, NY, USA, 2005, ACM Press, p. 4–12.
- [GRA 03] GRAU O., *Virtual Art : From Illusion to Immersion*, MIT Press, Cambridge, MA, 2003.
- [HAC 03] HACHET M., GUITTON P., « Using Virtual Reality for "New Clowns" », *Proceedings of second International Conference on Virtual Storytelling (ICVS)*, LNCS Springer-Verlag 2897, 2003, p. 211–219.
- [KLE 01] KLESEN M., SZATKOWSKI J., LEHMANN N., « Dramatised Actant Model for Interactive Improvisational Plays », *Proceedings of the 3rd International Workshop on Intelligent Virtual Agents*, 2001.

- [KOL 01] KOLEVA B., ADAMS M., TAYLOR I., BENFORD S., FRASER M., GREENHALGH C., SCHNÄDELBACH H., VOM LEHN D., HEATH C., ROW-FARR J., « Orchestrating a Mixed Reality Performance », *ACM Conference on Computer-Human Interaction (CHI '01)*, ACM, 2001, p. 38–45.
- [MEY 04] MEYER T. A., MESSOM C. H., « Improvisation in theatre rehearsals for synthetic actors », *Proceedings of 3rd International Conference on Entertainment Computing (ICEC 04)*, Eindhoven, The Netherlands, 2004, Springer-Verlag, Heidelberg.
- [PIN 97] PINHANEZ C., « Computer Theater », *Proceedings of the Eighth International Symposium on Electronic Arts (ISEA'97)*, 1997.
- [PRO 95] PROVOT X., « Deformation Constraints in a Mass-Spring Model to Describe Rigid Cloth Behavior », DAVIS W. A., PRUSINKIEWICZ P., Eds., *Proceedings Graphics Interface '95*, Canadian Human-Computer Communications Society, 1995, p. 147–154.
- [REA 00] REANEY M., « Art in Real-Time : Theatre and Virtual Reality », *Séminaire CIREN*, Université Paris 8, Saint-Denis, France, 2000, <http://www.ku.edu/~mreaney/reaney/ciren/>.
- [ROU 98] ROUSSEAU D., HAYES-ROTH B., « A social-psychological model for synthetic actors », *Proceedings of the second international conference on Autonomous agents (AGENTS '98)*, New York, NY, USA, 1998, ACM Press, p. 165–172.
- [SCH 10] SCHAPP W., *Beiträge zur Phänomenologie der Wahrnehmung*, Kaestner, Göttingen, 1910.
- [SMI 93] SMITH B., CASATI R., « La physique naïve : un essai d'ontologie », *Intellectica*, vol. 17, n° 2, 1993, p. 173–197.
- [SPA 99] SPARACINO F., WREN C., DAVENPORT G., PENTLAND A., « Augmented performance in dance and theater », *International Dance and Technology (IDAT99)*, Arizona State University, 1999.
- [SPA 00] SPARACINO F., DAVENPORT G., PENTLAND A., « Media in performance : Interactive spaces for dance, theater, circus, and museum exhibits », *IBM Systems Journal*, vol. 39, n° 3 & 4, 2000, p. 479–510.