

Salles immersives et cubes de réalité virtuelle, une première mondiale sur PC : le SAS Cube

David Nahon
Z-A, 64 rue de la Folie Méricourt,
75011 Paris - France
david@z-a.net



Le petit monde de la réalité virtuelle est peut-être en train de vivre une véritable révolution. On ne compte en effet plus le nombre de laboratoires et d'industriels qui mettent au point et commercialisent des solutions de réalité virtuelle multi-écran basées sur des grappes de PCs. Et s'il n'était plus nécessaire d'investir plusieurs centaines de milliers de dollars dans le seul générateur d'images pour jouir d'un réel environnement immersif de qualité ? Même SGI, le leader historique de ce marché, commercialise son propre Graphic Cluster®.

Mais si cette économie sur le matériel engendre un surcoût de développement, cette grande idée devient paradoxale : la plateforme logicielle est bel et bien la clé du succès.

Le SAS Cube (ou SAS³) est la solution développée conjointement par Z-A, Clarté et Barco [1][2][3][4], avec le soutien de PRIAMM [9]. C'est vraisemblablement la première salle immersive cubique à fonctionner sur une grappe de PC. Le SAS Cube a été inauguré à l'Ingénierium de Laval en Avril 2001 et présenté au public lors de la

manifestation Laval Virtual en Mai 2001 [5][6]. Au cœur du SAS Cube se trouve la SASLib, une API et un ensemble d'outils permettant de porter ou de développer très simplement des applications multi-écrans/multi-machines.

1) Introduction

Z-A est une société parisienne présente sur le marché de l'image de synthèse depuis 1987. A l'origine spécialisée dans la fabrication du contenu linéaire pré-calculé, Z-A s'est rapidement tournée vers la 3D temps réel en développant des outils d'animation interactive (Persona [7]). A la même époque, Z-A commence à produire et à développer les premières installations interactives de Maurice Benayoun [8]. (*Le diable est-il courbe ?*, *le Tunnel sous l'Atlantique*, *le Tunnel Paris New Delhi ...*).



Worldskin

C'est dans le CAVE® de l'Ars Electronica Center que sera inaugurée, en 1997, *Worldskin*, première réalisation de Z-A dans le plus prestigieux des environnements de Réalité

Virtuelle, et qui sera récompensée par le Golden Nica 1998 de l'installation interactive.

Z-A a depuis signé de nombreuses autres créations et interfaces de navigation utilisant les technologies de la réalité virtuelle, Internet, les bases de données, les agents, la musique interactive et le multimédia en général [2].

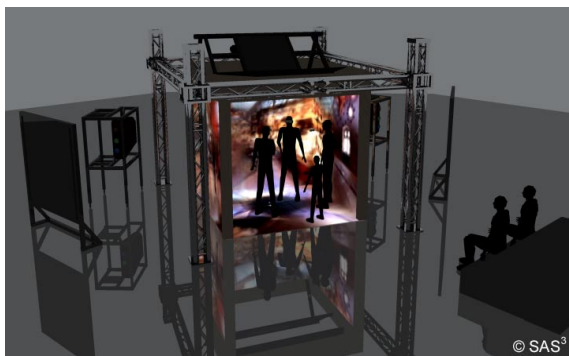
C'est pour répondre à une demande croissante de contenus interactifs immersifs pour le grand public (musées, parcs à thème, patrimoine ...) qu'au début 2000, Z-A s'associe à Barco et Clarté pour concevoir le SAS Cube au sein d'un projet labellisé PRIAMM [9].

Un des objectifs majeurs du cahier des charges du SAS Cube était de concevoir une solution complète (écrans, projecteurs, périphériques d'interaction, lunettes stéréo et bien sûr ordinateur(s) et logiciel), pouvant être proposée pour une somme inférieure à 500 K€, sans pour autant sacrifier la qualité. En outre, le dispositif devait être facilement démontable, transportable et entièrement remontable en une journée.

Le rôle de Z-A, assisté de Clarté, était de mettre en place la solution informatique (hard et soft). Il devenait alors clair que seul un système à base de PCs, en remplacement du traditionnel super-calculateur Unix, pouvait permettre d'atteindre ces objectifs.

Fort de l'expérience du SAS Cube, nous exposons dans cet article les rudiments et concepts liés aux grappes de PC pour la Réalité Virtuelle et à leur utilisation dans le contexte de salles immersives multi-écrans cubiques.

2) Ceci n'est pas un CAVE



Reconstitution 3D du SAS Cube

CAVE® est une marque déposée, propriété de l'"University of Illinois, Board of Trustees" et dont *Fakespace Systems Inc.* est exploitant exclusif.

Nous éviterons donc soigneusement d'utiliser des termes tel que "environnement de type CAVE" ou d'utiliser le mot CAVE comme un terme générique (tel que Frigidaire ou Hoover chez les anglo-saxons). C'est dommage, mais c'est ainsi. Nous utiliserons donc des périphrases telles que "espace immersif cubique", "salles immersives cubiques" ou "cube de réalité virtuelle" (CRV).

3) Un Cube de Réalité Virtuelle ?

On a souvent tendance à utiliser les cubes de réalité virtuelle pour naviguer dans des bases de données (terrains, bâtiments ...). Si cet usage est bien évidemment possible, il serait plus raisonnable de le confier à des espaces cylindriques (comme un *Reality Center*®), qui offrent l'avantage d'un certain confort (on est généralement assis) et permettent à de nombreux spectateurs une visite simultanée (avec ou sans lunettes stéréo).

Mais les CRV permettent une véritable interaction avec l'espace virtuel et un degré d'immersion inégalable. L'utilisateur est généralement muni d'un dispositif d'interaction tel qu'un *Wand* ou des *Pinch Gloves*® et ne doit revêtir que de légères lunettes pour la vision en relief. Il peut alors désigner des objets de la scène, les manipuler, en modifier l'apparence. Il navigue en désignant de la main la direction qu'il veut suivre, et surtout, peut se déplacer dans l'espace d'interaction comme il le ferait dans un espace réel, comme s'il était dans un hologramme animé. Grâce au dispositif de suivi (*tracking*) de la tête du visiteur, le système recalcule à tout instant, sur chaque écran, un point de vue cohérent qui, grâce à la vision en relief, fait complètement oublier la forme cubique de l'espace de projection.

Les CRV se rapprochent en ce sens des fameux casques de réalité virtuelle, mais ne souffrent pas de leurs limitations. Les casques sont en effet lourds, leur champ de vision est limité et leur résolution est faible. Leur utilisation dans un contexte grand public exige un encadrement complexe (problème d'hygiène, réglages ...).

Les CRV présentent aussi l'énorme avantage de ne pas couper l'utilisateur de son entourage ni de son corps, ce qui évitera tout phénomènes de malaise. On continue de voir ses mains, on peut désigner un élément de l'espace virtuel à un co-visiteur et communiquer avec lui sans encombre. Car s'il est vrai que ces espaces n'offrent un point de vue exact qu'à un seul visiteur à la fois (voire deux si l'on y met les moyens), il suffit que ceux-ci soient situés cote à cote pour que leurs points de vue soient sensiblement identiques.

4) Pourquoi une grappe de PCs

Si les PCs commencent à atteindre des performances graphiques et de calcul impressionnantes, il est encore trop tôt pour voir fleurir des machines bon marché capables de piloter 4 écrans ou d'avantage depuis un seul ordinateur, et en stéréo de surcroît. Un dispositif de *splitting* permettra éventuellement de dispatcher une partie de l'écran vers les différents projecteurs, mais les performances et la résolution ne seront pas au rendez-vous.

La tendance serait même opposée : si les PCs sont bon marché, mais pas encore assez puissants pour obtenir un *antialiasing* et des effets multi-passes trop gourmands, pourquoi ne pas répartir la charge sur plusieurs machines et agréger les efforts de chacun. Moyennant un surcoût en électronique, voilà vraisemblablement le meilleur usage qu'on puisse faire d'une grappe de PCs, et atteindre des performances extrêmes [10][11].

On pourrait aussi naïvement penser multiplier les cartes graphiques au sein d'un PC unique. Malheureusement, un seul bus AGP est présent sur un PC et le bus PCI, déjà lent, ne peut supporter de partager sa bande passante.

Une solution simple et efficace, et qui ne demande pas d'électronique particulière, consiste simplement à utiliser un PC par écran, voire un PC par œil (cf. plus loin)

Dans tous les cas, l'usage de matériel standard (*commodity hardware*) présente bien des avantages. Le premier est sa facilité de maintenance et son évolutivité. Si un composant lâche ou devient obsolète, il est très simple de le remplacer. Nul besoin de faire appel à des services de maintenance très onéreux. Le faible coût de chaque nœud

permet même un surnombre à même de palier très rapidement à une défaillance.

5) Le choix du dispositif de projection

Tout les efforts pour maintenir des performances et une qualité maximale dans la génération de l'image seraient ruinés si le dispositif de projection (projecteurs et écrans) n'était pas à la hauteur.

4,5 ou 6 écrans ?

Afin de remplir le champ de vision, il est indispensable de projeter sur le sol (à moins que l'on préfère le plafond et garde la tête en l'air !). Si l'on désire à la fois le sol et le plafond, il faudra prévoir de relever la structure entière pour loger le projecteur du sol, ou aménager le bâtiment pour projeter depuis l'étage du dessous. Dans le contexte d'un dispositif transportable qu'est celui du SAS Cube, ceci est exclu. La face arrière peut sans problème être absente, pourvu que l'application permette de faire pivoter le monde autour d'un axe vertical et amener le centre d'intérêt vers l'avant du Cube. L'absence de face arrière évitera aussi un sentiment souvent ressenti de claustrophobie, et allégera sensiblement le coût de la structure (pas d'écran/porte à construire).

C'est pour ces raisons que le SAS Cube possède 4 faces : avant, gauche, droite et sol.

Stéréo

Il existe fondamentalement deux modes de projection en relief

La stéréo active repose sur la succession dans le temps d'images destinées respectivement à chaque œil. On porte alors des lunettes actives qui masquent alternativement un œil puis l'autre en parfait synchronisme avec les projecteurs. On utilise généralement un système d'émetteur infrarouge dont le signal est reçu par les lunettes. Cette technologie nécessite de synchroniser le balayage vertical de toutes les cartes graphiques entre elles et d'asservir les émetteurs à ce même signal. On parle alors de *genlocking*. Une autre condition fondamentale à l'utilisation de cette technologie est la faible rémanence des

projecteurs, c'est à dire la faculté de présenter successivement des images différentes sans les mélanger. Seuls les projecteurs à tube (*CRT*) et certains projecteurs *DLP* en sont capables. Les projecteurs *LCD* sont exclus.

La stéréo passive repose, en général, sur l'usage simultané de deux projecteurs pour un seul écran. Chaque projecteur est muni d'un filtre polarisant circulaire. On porte alors des lunettes passives, munies de verres polarisants qui permettent à chaque œil de ne voir que l'image d'un seul des projecteurs. L'usage de projecteur *LCD* est alors possible, car la rémanence ne nuit pas à l'effet stéréo. Le moindre coût de ce type de projecteurs compense le fait qu'il en faille deux fois plus. Leur moindre faculté de réglages géométriques et la nécessité de superposer précisément deux images sur un même écran implique un calage mécanique d'une grande précision.

En stéréo passive, le *genlocking* des cartes graphiques n'est, à priori, plus nécessaire. De même, la carte graphique n'est pas tenue de supporter la stéréo active. L'usage de cartes graphique bi-canaux (*dual-head*) est fréquent dans ce contexte si l'on ne désire pas utiliser un PC par œil (ce qui augmente les performances mais accroît le coût)

Malheureusement, la polarisation des images n'est conservée qu'en retro-projection, et sur des matériaux particuliers. En projection directe, imposée sur le sol d'un Cube à 4 écrans, il faut utiliser un écran métallique très fragile qui se prête mal à une utilisation grand public.

La version actuelle du SAS Cube utilise donc la stéréo active, bien que la SASLib puisse gérer la stéréo passive (en *dual-head* ou non)

Les écrans

La qualité des écrans conditionne grandement celle de l'image projetée. Une des propriétés fondamentales est l'uniformité de la luminosité sur toute la surface de projection et ce quel que soit l'angle de vision (phénomène de vignettage).

Afin de permettre leur transport, on préférera des écrans souples, qui permettront aussi une transparence acoustique indispensable dans

une configuration fermée, puisque les haut-parleurs devront se situer derrière les écrans.

On veillera aussi à coordonner le revêtement du sol, en projection directe, à celui des écrans en rétroprojection.

La qualité du raccord entre les écrans est tout aussi essentielle. Le dispositif mécanique de tension et de maintien des écrans, breveté par Barco, constitue un atout majeur du SAS Cube.

6) L'architecture logicielle

Afin de faire fonctionner une application graphique sur la grappe de PC, il faut une base logicielle permettant:

- la synchronisation des PCs,
- le calcul des projections pour chaque écran et chaque œil,
- la gestion du tracking et des périphériques d'interaction,
- la simulation de ces périphériques dans une configuration de développement où seul clavier et souris sont disponibles,
- l'interfaçage avec une ou plusieurs API graphiques,
- la gestion transparente du Cluster

Comment distribuer l'application sur le cluster ?

Il existe fondamentalement deux approches.

La plus simple et la plus immédiate consiste à exécuter en parallèle la même application sur les différentes machines. Seuls les calculs spécifiques aux différents points de vues seront différents (*culling* et projection). On désignera une machine (éventuellement non graphique) pour centraliser l'état des périphériques et la base de temps, et la distribuer aux autres machines : les mêmes causes devant conduire aux mêmes effets, à la condition qu'aucune information ne soit perdue dans la distribution. Un réseau *Ethernet* standard (100 *Mbits*) est alors amplement suffisant, quelle que soit la complexité de la scène.

Une autre approche consiste à privilégier une machine et la charger de calculer l'état graphique de toutes les autres, qui ne jouent alors plus qu'un rôle très passif d'affichage pur (SyZyGy [12]).

La logique peut même être poussée assez loin en travaillant directement au niveau du driver *OpenGL* [10][11]. On exécute alors l'application sur la machine maîtresse après avoir remplacé son driver par une version réseau, qui va acheminer (après éventuelles optimisations) les instructions aux machines esclaves qui n'auront plus qu'à être exécutées par les cartes graphiques. Si cette approche est séduisante, elle nécessite une bande passante réseau très importante, d'autant plus que la scène subit d'importantes modifications à chaque *frame* (déformations géométriques, système de particules ...). Le coût de la solution peut alors s'avérer très élevé.

La SASLib est basée sur le premier modèle, augmenté d'une API permettant d'allouer des variables sur un segment de mémoire qui sera partagé automatiquement par la librairie. Un système de *handshaking* assure qu'aucune donnée n'est perdue lors de la distribution.

Synchronisation des Framebuffers (FrameLock ou SwapLock)

Si la synchronisation des applications est primordiale, il n'en est pas moins de celle des *framebuffers*. Lorsque une machine a terminé de calculer un *frame* il est impératif qu'elle attende que toutes les autres aient fini le leur avant de passer, ensemble, au suivant (c'est à dire d'afficher le *buffer* arrière – avec *glSwapBuffer*).

Afin d'éviter d'introduire toute latence, cette fonctionnalité est généralement implémentée en *hard* à travers un bus spécifique de la carte graphique ou par le port parallèle.

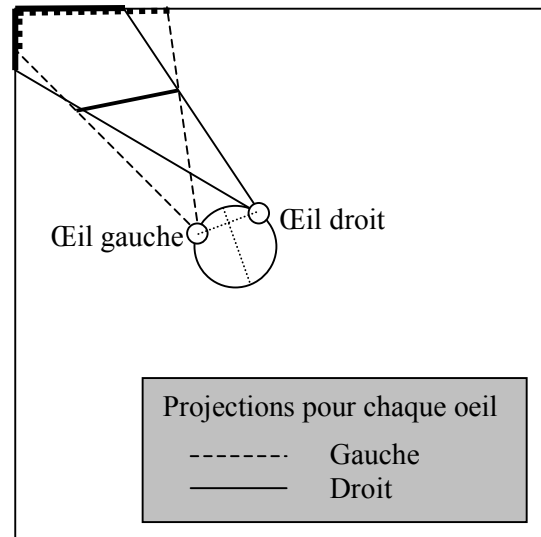
Administrer le cluster

Pour éviter d'avoir à manuellement démarrer les applications sur chaque machine, il est souhaitable d'implémenter un système de lancement à distance à partir d'une machine unique. Ce système devra aussi être capable de stopper les applications, voire de redémarrer un ordinateur défaillant.

Calcul des matrices de projections

Le secret et la magie des CRV réside dans le calcul par la librairie graphique des paramètres de projection (le *frustum*) en fonction de la position des yeux de l'utilisateur et de la géométrie des écrans. Ce *frustum* est généralement asymétrique car l'utilisateur

n'est à priori pas au centre du cube. Voir détails dans [11] et [14].



Interfaçage avec des API graphiques

Si l'environnement logiciel n'est pas tout intégré (tel Lynx/Vega de Paradigm), il peut être nécessaire d'implémenter, au dessus de l'API de base, une couche permettant de visualiser des bases de données dans des formats populaires et/ou permettre l'utilisation de *scenegraphes* qu'un utilisateur affectionne.

La SASLib interface *OpenInventor* et *OpenGL Optimizer*.

7) Choix informatique

Le matériel informatique sera choisi en fonction de la technique de projection et de l'environnement logiciel (librairie graphique et Système d'exploitation), et bien sûr des performances graphiques et CPU.

Si la stéréo active est nécessaire, le cluster devra aussi supporter le *genlock*. Il existe aujourd'hui un nombre très limité de plates-formes supportant en hardware cette fonctionnalité.

La carte graphique 3Dlabs Wildcat 5110 (et le modèle précédent - 4210) propose cette option. Elle peut s'intégrer à la plupart des stations graphiques haut de gamme récentes (il faut un bus AGP pro 50). Il est à noter que cette carte ne fonctionne, pour le moment, que sous Windows, ce qui interdit l'usage de *Performer* qui ne tourne que sous *Linux* ou *Irix*.

Si la carte graphique ne supporte pas le *genlocking* en hardware (comme la famille GeForce de Nvidia), on peut effectuer cette synchronisation en soft. Le LIFO, à l'Université d'Orléans, a développé à cet effet une librairie sous Linux nommée SoftGenlock [15].

D'autres constructeurs implémentent le *genlocking* hardware de cartes Nvidia au moyen d'un dispositif externe (ObsidianNv de Quantum3D, Fleye d'Artabel [11])

On pourra aussi se pencher sur des solutions propriétaires haut de gamme telles que la Simfusion d'E&S mais leur coût est loin d'être négligeable.

8) Tracking et périphériques d'interaction

Hard

La plupart des environnements cubiques de réalité virtuelle utilisent des capteurs électromagnétiques. Le plus populaire étant le *Flock of Birds* d'Ascencion Technology. Mais cette technique nécessite l'emploi de matériaux non métalliques et se doit d'être calibrée de façon très précise afin de compenser les distorsions.

La société Intersense propose une solution, plus onéreuse, mais totalement exempte de distorsions, et qui peut être facilement intégrée à la structure et calibrée une fois pour toute. L'utilisation de récepteurs ultrasonores situés au dessus de la structure du Cube interdit leur usage dans une configuration 5 ou 6 faces. Pour le SAS Cube, c'est le dispositif de prédilection.

Pour ce qui est des périphériques de navigation et d'interaction, le wand reste le plus populaire. Muni de 3 boutons minimum et d'un joystick à 2 axes, il permet la navigation et la sélection de façon très ergonomique. Un des sujets de recherche les plus en vogue consiste à introduire un ordinateur ultra-léger (type Palm, voire ultra-portable). La présence d'un écran autorise l'affichage de textes et graphiques apportant une nouvelle dimension à l'interaction (choix sur un menu, click sur une représentation schématique de l'espace virtuel ...), mais souffre encore de problèmes d'ergonomie (préhension à une main, encombrement ...)

Soft

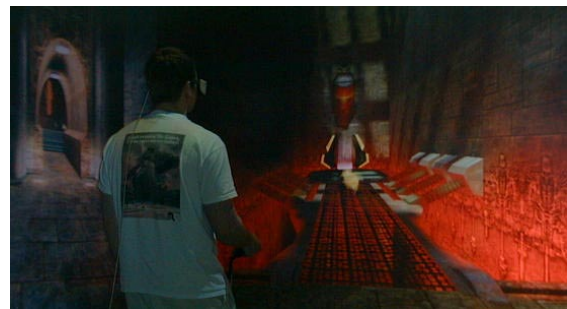
Le produit le plus largement utilisé est certainement *trackd* de la société VRCO, qui commercialise la célèbre *CAVELib*. Il est extrêmement bien supporté et supporte une multitude de périphériques.

VRPN [17] est quant à lui une solution Open Source, non moins riche en périphériques. Son architecture client/serveur (également présente dans la dernière version de *trackd*) lui offre une grande souplesse. Elle est cependant moins dédiée aux environnements immersifs (pas de calibrage directement dans le serveur), mais peut être facilement complétée par la partie cliente, comme le fait la SASLib.

9) Conclusion

Les salles immersives cubiques fonctionnant sur une grappe de PC devraient bientôt donner à la réalité virtuelle un essor jamais connu. De nouveaux marchés, jusqu'alors inaccessibles, devraient voir le jour, touchant enfin le grand public.

L'intérêt suscité par les versions immersives de jeux vidéo tel Quake [18] ou Unreal Tournament [19] laissent présager d'un marché colossal dans le domaine du loisir, qui devrait ouvrir la porte à celui de la culture, de l'art et de l'éducation [20] C'est dans cet esprit que le SAS Cube a été conçu.



Cave Quake III Arena [18]

Le premier SAS Cube est installé à l'Ingénierium de Clarté à Laval, et peut être visité sur rendez-vous.

10)Références

- [1] SAS Cube
<http://www.sascube.com>
- [2] Z-A
<http://www.z-a.net>
- [3] Clarté (Centre Lavallois de Ressources Technologiques)
<http://www.clarte.asso.fr/>
- [4] Barco
<http://www.barco.com>
- [5] Laval Virtual
<http://www.laval-virtual.org>
- [6] Journal de 13h00 de TF1 du 20 Mai 2001 (realvideo)
<http://www-compatible.tf1.fr/videojt/videomai01/jt13d20051/rpm/jt13d20051r07.rpm>
- [7] Persona – Outils de programmation visuelle pour l’animation interactive en temps-réel
<http://www.z-a.net/persona>
- [8] Site web de Maurice Benayoun
<http://www.moben.net>
- [9] PRIAMM - Programme pour la Recherche et l’Innovation dans l’Audiovisuel et le Multimédia
<http://www.cnc.fr/priamm/>
- [10] WireGL - A Scalable Graphics System for Clusters
<http://graphics.stanford.edu/papers/wiregl/>
- [11] ASGA – Artabel Scalable Graphics
<http://www.artabel.net/SITE/php/products.php?display=graphics>
- [12] SyZyGy
<http://www.isl.uiuc.edu/ClusteredVR/ClusteredVR.htm>
ISL - University of Illinois at Urbana - Champaign
- [13] C. Cruz-, D. Sandin, T. DeFanti
"Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE"
<http://www.evl.uic.edu/EVL/RESEARCH/PAPERS/CRUZ/sig93.paper.html>
- [14] D. Pape, D. Sandin, T. DeFanti
"Transparently supporting a wide range of VR and stereoscopic display devices"
<http://www.evl.uic.edu/pape/papers/cavestereo.ei99/>
- [15] Net Juggler - SoftGenLock
<http://www.univ-orleans.fr/SCIENCES/LIFO/Members/raffin/SHPVR/>
Laboratoire d'Informatique d'Orléans - Université d'Orléans
- [16] Intersense IS900VET
<http://www.isense.com/products/prec/is900/IS900.pdf>
- [17] VRPN - Virtual Reality Peripheral Network
<http://www.cs.unc.edu/Research/vrpn/>
- [18] CQ3A – Cave Quake III Arena
<http://www.visbox.com/cq3a/>
- [19] CAVE Unreal Tournament
<http://www2.sis.pitt.edu/~jacobson/ut/CaveUT.html>
- [20] *Instant city*
Premier numéro d’une série de douze documentaires immersifs utilisant le SAS Cube pour plonger un architecte dans un univers interactif inspiré par son œuvre, et restituer au public son parcours, son image et ses commentaires.



<http://www.z-a.net/immersiveTV>