

Nouvelles perspectives pour l'image de synthèse

Véronique Bourgoïn

Marc Roelens

Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne

158 Cours Fauriel

F42023 Saint-Etienne CEDEX 2

Tél : (33) 77 42 01 73

E-mail : {roelens|bourgoïn}@emse.fr

Résumé

Le réalisme occidental utilise le point de vue unique et fixe qui ne semble répondre qu'à une convention culturelle mise en place au XV^{ème} siècle, après plusieurs siècles de perspective antique. Le Cubisme utilise une autre notion du réalisme, en reprenant l'idée du regard balayant la scène avec deux yeux.

L'image de synthèse ne pose pas la question du réalisme expérimental humain : elle se réfère au réalisme photographique. Nous avons introduit dans la synthèse d'image ces concepts de réalisme plastique, en définissant de nouveaux modèles de projection, que l'on peut classer en trois familles : les projections à oeil mobile (perspective antique), les projections à grand angle et les projections convergentes (Cubisme).

Ces projections ont été utilisées dans un environnement de synthèse d'images comportant une modélisation par arbre de construction et une visualisation par lancer de rayons.

1 Introduction

1.1 Exposé de la problématique

De nombreuses perspectives ont été et sont utilisées dans le monde de la représentation. Choisir l'une d'elles reflète une certaine façon de percevoir le monde. Dans l'abstraction représentationnelle occidentale, le spectateur, en tant que corps, est réduit à un œil, lui-même compressé en un point.

Le questionnement sur le réalisme de l'image s'impose. L'image dite réaliste renvoie-t-elle à une réalité en tant que telle, existant dans le monde de façon absolue et directement accessible à l'exclusion de tout code transcritif, ou à un concept culturellement acquis comme réaliste et qui ne renvoie qu'à lui-même [Bou94]?

Cette recherche ne s'inscrit pas dans le cadre d'une recherche scientifique dont l'objectif serait de construire des modèles dont les règles de fonctionnement correspondrait à des lois absolues de la nature. Nous nous trouvons en présence de modèles issus des seules sciences humaines et d'interprétations sensorielles. L'objectif de ce travail se résume donc à extraire les *concepts* qui régissent chaque style de représentation. En essayant de rester fidèle à ces concepts de base, nous définissons des fonctions de projection, et dans le cadre de nos résultats, nous ne conservons que les images dont l'esthétique nous semble radicalement nouvelle. L'enjeu n'est donc pas de faire de la *perspectiva naturalis* de façon radicale et ressemblante, ni de systématiser les principes du Cubisme pour réaliser un modèle cubiste, mais à partir de différentes idées sur le « réalisme », de créer de nouvelles images propres à surprendre dans leur organisation formelle.

1.2 Approche informatique

Le problème de la perspective (ou de la projection) est le suivant : comment passer d'une représentation du monde qui est tridimensionnelle à une représentation de l'image qui n'est que bidimensionnelle ?

isea95@er.uqam.ca T : (514) 990-0229



ISEA95
montréal

Il est très traditionnel d'utiliser en synthèse d'images une perspective classique conique. Nous avons essayé des perspectives qui nous ont semblé intéressantes soit par leur aspect historique, soit par leurs propriétés géométriques.

Des travaux ont déjà été menés en utilisant ces principes. A partir d'un modèle à base de systèmes de particules, une visualisation est possible en modifiant légèrement l'algorithme du z-buffer [BB92]. Cependant, ces techniques ne permettent que difficilement de rendre compte du volume des objets. Aussi nous sommes nous tournés vers une modélisation volumique de type arbre de construction avec visualisation par algorithme de tracé de rayons [Roe93].

2 Perspective classique

2.1 Un peu d'histoire

Rappelons tout d'abord les origines de la perspective que nous nommons *classique*, à savoir la perspective conique. Son objectif est le *réalisme*, c'est-à-dire la volonté de restituer des images planes aussi fidèles que possible à la réalité physique.

Cette technique n'a rien de neuf puisqu'elle provient de la technique dite *camera obscura* (la chambre noire). Une pièce sombre possède l'un de ses murs percé d'un trou permettant le passage de la lumière. Alors, sur le mur opposé au perçage se forme une image (inversée) de ce qui est visible par le perçage.

On obtient une perspective comparable en utilisant un miroir et en tournant le dos à la direction dans laquelle se trouve la scène à visualiser : il se forme sur le miroir une image plane par réflexion de la scène. Dans ce cas, la scène subit une inversion de sens gauche-droite.

Au XV^{ème} siècle, Brunelleschi utilisa la technique du miroir, tandis qu'Alberti [Alb35] se servit de la *camera obscura* pour formaliser la trajectoire de la lumière et la formation de l'image. On peut d'ailleurs considérer que cette formalisation est la première description de l'algorithme du tracé de rayons¹.

A la fin du XVI^{ème} siècle, Giambattista della Porta améliore la technique en installant des lentilles dans le perçage. L'utilisation de ces lentilles s'améliorera au fil des siècles. Ensuite, au XVIII^{ème} siècle, la camera obscura va devenir portable et donc permettre la saisie de plus nombreuses scènes. Puis, en 1822, Nicéphore Niepce introduira une plaque sensible, inventant la photographie. Enfin, la synthèse d'images actuelle perpétue cette notion de réalisme photographique.

2.2 Principe de projection

Ceci nécessite la définition d'un certain nombre de paramètres qui sont par exemple :

- la position de l'oeil
- la position d'un point visé
- la direction du haut de l'image
- le demi-angle d'ouverture en largeur α
- le demi-angle d'ouverture en hauteur β

Les deux angles doivent être positifs et strictement inférieurs à $\frac{\pi}{2}$.

La figure 1 indique comment sont utilisés ces paramètres. L'écran est dans un plan orthogonal à la direction de visée (joignant l'oeil et le point visé), la direction du haut de l'image indique la rotation à effectuer autour de cet axe et les deux angles limitent ce plan à une portion rectangulaire. Afin d'éviter des artefacts (sphères apparaissant comme des ellipsoïdes), la résolution de l'image doit respecter les proportions des angles d'ouverture.

2.3 Lignes de fuite

Cette notion est importante dans l'analyse des peintures. Elle traduit une technique de construction picturale de la perspective.

Dans la réalisation d'un dessin en perspective, on commence par tracer une ligne d'horizon. Sur cette ligne d'horizon va se positionner ce que l'on nomme un point de fuite, vers lequel vont

1. Certains historiens de l'art estiment que la camera obscura fut déjà utilisée dans l'Antiquité

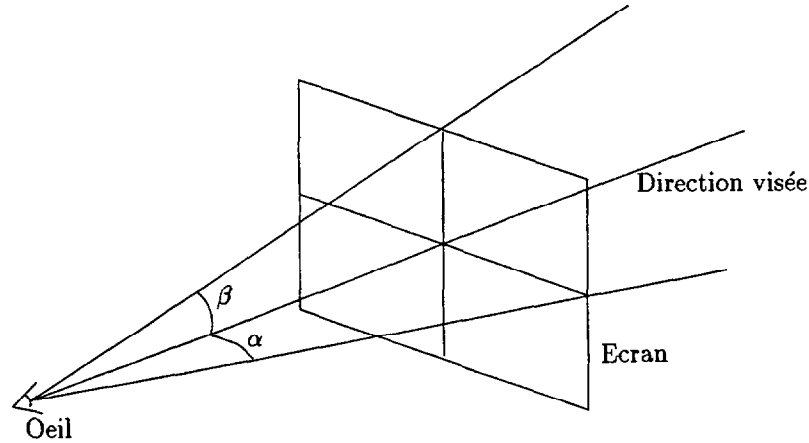


FIG. 1 - *Perspective classique*

converger toutes les lignes orthogonales au plan de projection. Ce sont ces lignes qui constituent les lignes de fuite.

3 Perspectives à oeil mobile

3.1 Analyse picturale

Ce type de perspective découle de l'analyse de la perspective en arête de poisson, perspective antique appelée *perspectiva naturalis*. Cette analyse a été faite à partir de peintures où l'espace se découpe de façon mesurable et régulière, par des poutres ou des carrelages orthogonaux au plan de projection.

Sur certaines de ces peintures, les lignes de fuite ne convergent pas vers un point de fuite unique mais vers un axe de fuite vertical occupant le centre de l'image. Selon les peintures, elles sont organisées sur cet axe de fuite de façon régulière ou irrégulière. On voit néanmoins toujours apparaître l'épine dorsale de l'arête de poisson [Pan87].

Nous avons retenu comme principe la mobilité verticale de l'oeil pour voir se dessiner cette épine dorsale. Ce déplacement de l'oeil est fonction de la position latérale du point de projection (tous les points de l'image situés sur une même colonne utilisent la même position de l'oeil).

3.2 Perspective en arête de poisson

Le déplacement vertical de l'oeil est ici proportionnel à l'écartement du point de l'image par rapport à l'axe central de fuite.

On constate que dans ce type de projection, une ligne horizontale est projetée sous forme d'un chevron, soit deux segments de droite symétriques par rapport à l'axe médian de l'écran.

La constante de proportionnalité peut être choisie arbitrairement ; dans la plupart des cas, nous avons choisi une constante telle qu'une ligne occupant en perspective classique le milieu de l'écran (dans le sens horizontal) soit projetée en un chevron passant par les deux coins inférieurs de l'image.

Un autre type de perspective appelée perspective à faisceaux croisés utilise un principe similaire, à la différence près que les points se projetant en un point de l'écran constituent deux droites, symétriques par rapport au plan médian horizontal de l'écran : nous n'avons pas implanté cette perspective pour le moment.

3.3 Perspective hyperbolique

Dans ce cas, le déplacement est proportionnel à l'inverse de l'écartement par rapport à l'axe central de fuite.

Dans ce type de projection, une ligne horizontale se trouve projetée sous forme de deux branches d'hyperbole symétriques par rapport à l'axe central de l'image.

Afin d'éviter les dépassements de capacité informatiques, nous utilisons en fait la technique suivante : dans une zone voisine de l'axe central, les branches d'hyperbole sont jointes par un morceau de parabole. Ce raccordement est fait de façon continûment dérivable pour éviter les artefacts.

4 Perspectives à grand angle

Ainsi que ceci a été noté pour la perspective classique (et il en est de même pour les perspectives à oeil mobile), on ne peut utiliser une ouverture horizontale ou verticale supérieure à $\frac{\pi}{2}$, ce qui veut dire que le champ de vision est limité à un demi-espace.

Encore convient-il de noter que pour des valeurs d'angles importantes, on obtient des distorsions visuelles importantes. En particulier, les objets placés vers les bords de la pyramide de vision se trouvent artificiellement grandis.

Il nous est alors apparu intéressant de rechercher des modèles de projection qui permettent de représenter sur une vue plane une portion importante (voir totale) de l'espace.

4.1 Perspective stéréographique

La projection stéréographique permet de projeter une sphère privée de l'un de ses points sur un plan diamétral orthogonal à la droite joignant le point au centre de la sphère. Par analogie avec la sphère terrestre, on appelle *pôle nord* le point choisi et *plan équatorial* le plan de projection. Le principe est alors le suivant : soit S la sphère, N le pôle et P_E le plan équatorial, alors à tout point P de $S \setminus \{N\}$ est associé le point de P_E qui est l'intersection de la droite NP et du plan P_E (voir figure 2). Ainsi, dans une telle perspective, le pôle opposé (ou *pôle sud*)

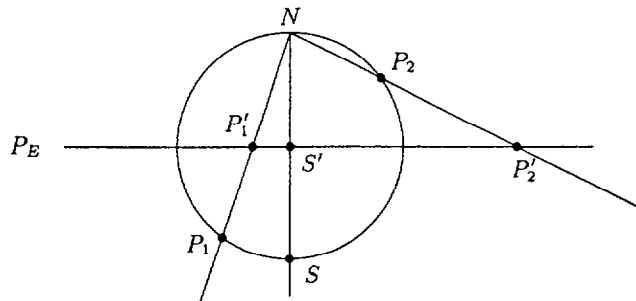


FIG. 2 - Projection stéréographique

se projette à l'origine du plan équatorial, les points de l'équateur sont invariants, les points de l'hémisphère nord (P_2 par exemple) se projettent à l'extérieur du cercle équatorial (en P'_2), les points de l'hémisphère sud se projettent à l'intérieur de ce cercle (voir P_1 et P'_1). D'autre part, les parallèles de la sphère se projettent sur des cercles, les méridiens se projettent sur des droites passant par l'origine du plan.

Une autre propriété intéressante de cette perspective est la conservation des angles : deux courbes tracées sur la sphère et s'intersectant en faisant un angle α sont projetées en deux courbes sur le plan s'intersectant avec le même angle α . Ceci se retrouve en particulier sur les parallèles et méridiens qui s'intersectent orthogonalement.

Le principe de la perspective stéréographique est alors le suivant : l'oeil se trouve au centre d'une sphère unitaire et la direction de visée détermine la position du pôle sud. Ainsi, le pôle nord se trouve "derrière" l'oeil. Tout rayon issu de l'oeil intersecte la sphère en un point I , et on projette ce point I stéréographiquement sur le plan équatorial en I' .

Ainsi, l'espace visible est l'espace entier privé de la direction du pôle nord. Dans la pratique, on interdit les directions dont l'angle avec la direction du pôle nord est supérieur à une valeur limite δ_{max} .

L'image obtenue par cette perspective est alors un disque, le centre de ce disque étant ce que l'on voit dans la direction principale de visée, et le cercle limite étant ce que l'on voit dans les directions limites. Comme nous calculons des images rectangulaires, nous avons pris la convention de centrer le disque représentant l'image dans ce rectangle, et de l'y rendre tangent. Les pixels se trouvant dans le rectangle en dehors du disque prennent par convention la couleur noire.

4.2 Perspective sphérique

La perspective stéréographique décrite au paragraphe précédent, ne permet pas la vue de l'espace entier. De plus, lorsque l'on prend des valeurs faibles de l'angle limite, le disque projeté prend des valeurs importantes de rayon, et les changements d'échelle nécessaires pour intégrer cette projection dans une image rectangulaire "compriment" les directions proches de la direction principale.

Nous avons donc essayé de remédier à ce phénomène en introduisant une perspective, dite *sphérique*, qui permet de projeter tout l'espace en limitant les compressions. Cette technique est d'ailleurs utilisée dans le domaine de l'architecture [Bon85], ainsi que par les Esquimaux pour effectuer la décoration intérieure des igloos. Le procédé OMNIMAX utilise une technique similaire pour effectuer des projections cinématographiques sur un écran hémisphérique (comme à la *Géode* de Paris) [Max83]. Ce principe est également connu dans le domaine de la photographie, puisque les objectifs de type *fish-eye* réalisent optiquement cette perspective sphérique (avec perception d'un demi-espace).

Le principe en est le suivant : l'œil est encore situé au centre de la sphère S , et le plan de projection est tangent à cette sphère, orthogonal à la direction principale de visée. Le point de tangence est A , le point visé. Par tout point P de la sphère, on peut faire passer un plan Π contenant également le centre de la sphère (l'œil) et le point A . Ce plan Π intersecte la sphère selon un arc de cercle C et le plan de projection selon une droite Δ (en fait, on ne retient que la demi-droite située du même côté que le point P). Alors, tous les points de la demi-droite $[S, P)$ se projettent au point p de Δ dont la distance à A est égale à la longueur de l'arc de cercle C . Le

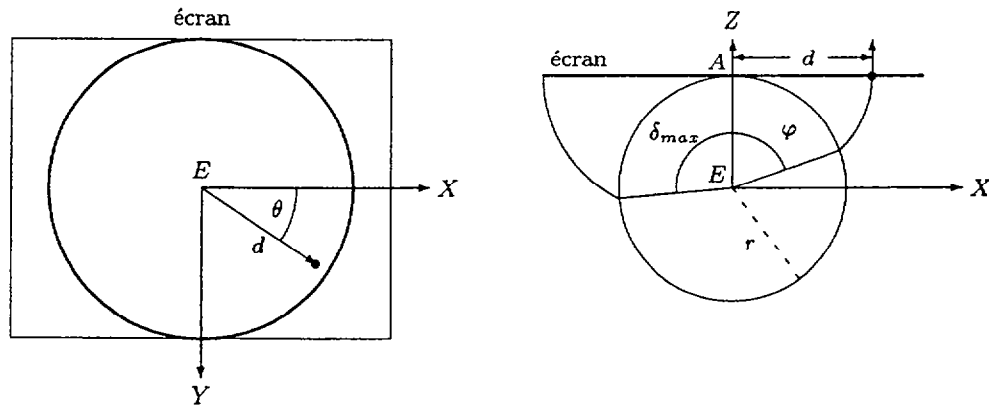


FIG. 3 - Perspective sphérique

principe ci-dessus est applicable pour un écran infini, mais dans la pratique, nous utilisons un écran fini. En fait, on utilise un angle d'ouverture δ_{max} , tel que le diamètre de l'écran soit égal à $\delta_{max}r$. Notons d'ailleurs que rien n'interdit d'avoir un angle d'ouverture supérieur à π . Dans ce cas, on trouve sur l'image une série de cercles centrés sur le centre de l'écran correspondant à ce qui est vu dans la direction opposée à la direction de visée (la distance au centre de l'écran

est alors un multiple impair de πr), et éventuellement une série de cercles correspondant à ce qui est vu dans la direction de visée (la distance est alors un multiple pair de πr).

5 Perspectives convergentes

5.1 Approche cubiste

Le Cubisme fut l'une des grandes ruptures de l'histoire de l'art dans les modèles de représentation depuis le Quattrocento. Braque et Picasso ont introduit dans le tableau l'équation espace-temps, attribuant à l'image le statut de surface démonstratrice de l'espace et du volume.

La réalité expérimentale du volume, perceptible uniquement par le mouvement, est traduite par le regroupement sur une même image d'une somme de points de vue différents. Le peintre tourne autour de son modèle et rend sur la toile la somme de ses impressions [Pau90].

Il est important de noter que Braque et Picasso refusaient de signer leurs toiles dans l'idée d'automatiser ce concept de représentation de l'espace. La vision cubiste devait accéder à une autonomie propre comme le modèle brunelleschien s'est affranchi de Brunelleschi et d'Alberti pour devenir une évidence en soi.

Du cubisme, nous avons retenu les principes suivant :

- l'oeil tourne autour de l'objet,
- l'image rendue regroupe la somme des points de vue.

Notons enfin que les perspectives dites "à oeil mobile" citées précédemment (perspective en arête de poisson et perspective hyperbolique) ne sont pas considérées comme appartenant à cette famille car il n'y a pas convergence des rayons en un point visé unique.

5.2 Perspective boulique

Dans ce type de perspective, c'est maintenant le point visé A qui se situe au centre d'une sphère S , et l'écran de projection est développé sur cette sphère.

On utilise un système de projection en latitude et longitude. Plus précisément, on associe à tout point de l'image une latitude et une longitude. Par convention, le centre de l'écran a une latitude et une longitude nulle, le bord droit de l'écran correspond à une longitude maximale, le bord gauche à l'opposé de cette longitude maximale, le bord supérieur à une latitude maximale et le bord inférieur à l'opposé de cette latitude maximale. Les angles de latitude et de longitude limites sont des paramètres de la projection.

Ensuite, pour un point de l'écran de projection, on calcule sa longitude et sa latitude par simple interpolation linéaire entre les longitudes et latitudes limites définies sur les bords de l'écran. L'oeil est alors placé sur la sphère au point défini par ces longitude et latitude. Les lignes horizontales de l'écran correspondent alors aux parallèles, les lignes verticales correspondant quant à elles aux méridiens.

On peut ainsi noter que ce type de perspective permet de voir un objet sous toutes ces faces sur une seule vue. Dans le cas où la latitude limite est supérieure à 90 degrés, on obtient des lignes horizontales de couleur uniforme, correspondant à la couleur vue en regardant d'un des pôles : en effet, pour une latitude multiple de 90 degrés, l'oeil est placé au pôle quelle que soit la longitude (la longitude n'est pas définie aux pôles).

Notons enfin un phénomène curieux avec cette perspective : si un objet est situé derrière le point visé (le centre de la sphère), il est vu à l'envers sur l'image. De même, si un objet est présent exactement au centre de la sphère, il est potentiellement visible sur tous les pixels de l'image (si aucun autre objet ne vient le masquer).

5.3 Perspective circulaire

Dans ce cas, l'oeil est mobile sur un arc de cercle et l'écran est développé sur une portion de cylindre coaxiale de cet arc. Deux angles servent à déterminer complètement cette perspective, un angle d'ouverture en largeur α (similaire à celui utilisé en perspective classique ou hyperbolique), et un angle d'enroulement δ_{enr} .

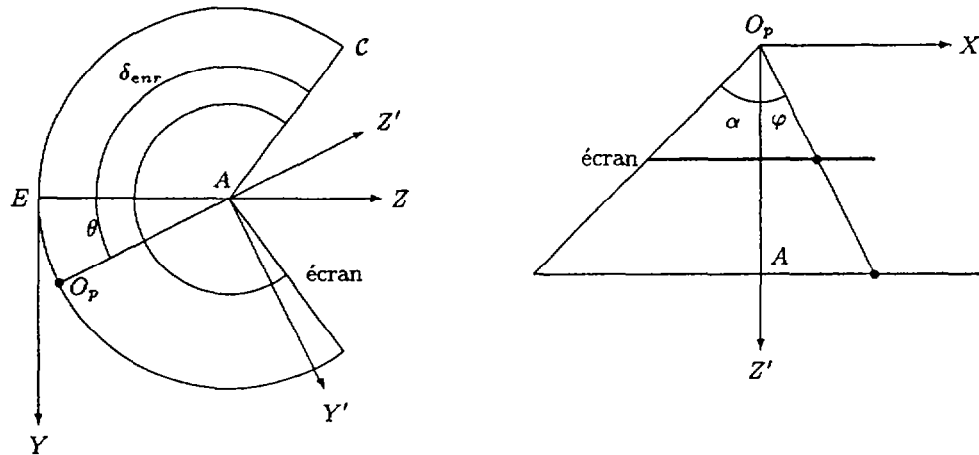


FIG. 4 - Perspective circulaire

Notons que pour des valeurs d'angle d'enroulement supérieures à 180 degrés, on observe une périodicité entre les lignes de l'image. D'autre part, de la même façon que pour la perspective boulique, un objet situé derrière le point visé apparaît inversé.

6 Implantation

D'un point de vue informatique, les diverses perspectives décrites précédemment sont implantées dans le logiciel de tracé de rayons *yart* développé à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Ce logiciel, développé sur stations de travail UNIX, fait partie de l'environnement de synthèse d'image *Illumines* [BP89]. La base de cet environnement est un modéleur de type arbre de construction. On peut ainsi définir des primitives, des opérations booléennes entre objets (réunion, intersection ou différence) ainsi que des transformations affines appliquées sur les objets.

Ce logiciel est paramétrable de multiples façons. En particulier, il est possible d'utiliser n'importe lequel des principes de projection définis précédemment. Notons que le modéleur permet également de réaliser des interpolations entre les diverses perspectives, ceci permettant des effets d'animation.

Notons enfin que le logiciel de tracé de rayons ne doit utiliser aucune technique d'accélération basée sur la projection sur le plan de l'écran. En effet, les perspectives que nous utilisons rendent très difficile (voire impossible) la définition de projections de formes complexes sur l'écran. Notre logiciel utilise donc une technique basée sur la notion d'englobants, qui est plus générale.

Ces effets (perspectives multiples et interpolations) ont été utilisés pour la réalisation du film d'animation en images de synthèse "Castorexion". Pour illustrer ces perspectives, nous avons calculé des images en utilisant la même scène, visualisée par tracé de rayons avec les perspectives décrites dans ce papier. La scène est composée de tores reconstituant les parallèles et méridiens terrestres. Dans le cas des perspectives à grand angle, l'oeil est placé au centre de la sphère. Pour les perspectives convergentes, c'est le point visé qui est au centre de la sphère.

Les photographies 1 et 2 montrent ces différentes images :

- photographie n° 1

- en haut, à gauche : perspective classique
- en haut, à droite : perspective en arête de poisson
- en bas, à gauche : perspective hyperbolique

- en bas, à droite : perspective sphérique
- photographie n° 2
 - en haut, à gauche : perspective stéréographique (direction de visée selon l'axe polaire)
 - en haut, à droite : perspective stéréographique (direction de visée selon un axe équatorial)
 - en bas, à gauche : perspective circulaire
 - en bas, à droite : perspective boulique

Références

- [Alb35] Alberti (Leone Battista). – *De pictura*, 1435. Manuscrit en latin, traduction de Jean-Louis Schefer, 1992, Ed. Macula Dedale.
- [BB92] Beigbeder (Michel) et Bourgoïn (Véronique). – New perspectives for image synthesis. In : *COMPUGRAPHIC'S 92: Proceedings of the Second International Conference on Computational Graphics and Visualization Techniques*, pp. 44-52. – Lisbonne, Portugal, Décembre 1992.
- [Bon85] Bonbon (Bernard). – *La géométrie sphérique tridimensionnelle*. – Paris, Eyrolles, 1985.
- [Bou94] Bourgoïn (Véronique). – *Synthèse en trois dimensions. Analyse et recherche de modèles de projection inspirés de concepts développés au cours de l'histoire de l'art*. – Thèse de PhD, Université Paris VIII/ATI, Décembre 1994.
- [BP89] Beigbeder (Michel) et Péroche (Bernard). – Un système de synthèse d'images 3d : Illumines. In : *Journées UNIX Internationales de Grenoble*, pp. 265-276.
- [Max83] Max (Nelson L.). – Computer graphics distortion for IMAX and OMNIMAX projection. In : *Nicograph '83 Proceedings*, pp. 137-159.
- [Pan87] Panovski (Erwin). – *La perspective comme forme symbolique*. – Paris, Editions de Minuit, 1987.
- [Pau90] Paulhan (Jean). – *La peinture cubiste*. – Paris, Folio Essai, 1990.
- [Roe93] Roelens (Marc). – *Un environnement pour le tracé de rayons utilisant une modélisation par arbre de construction*. – Thèse de PhD, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, Avril 1993.

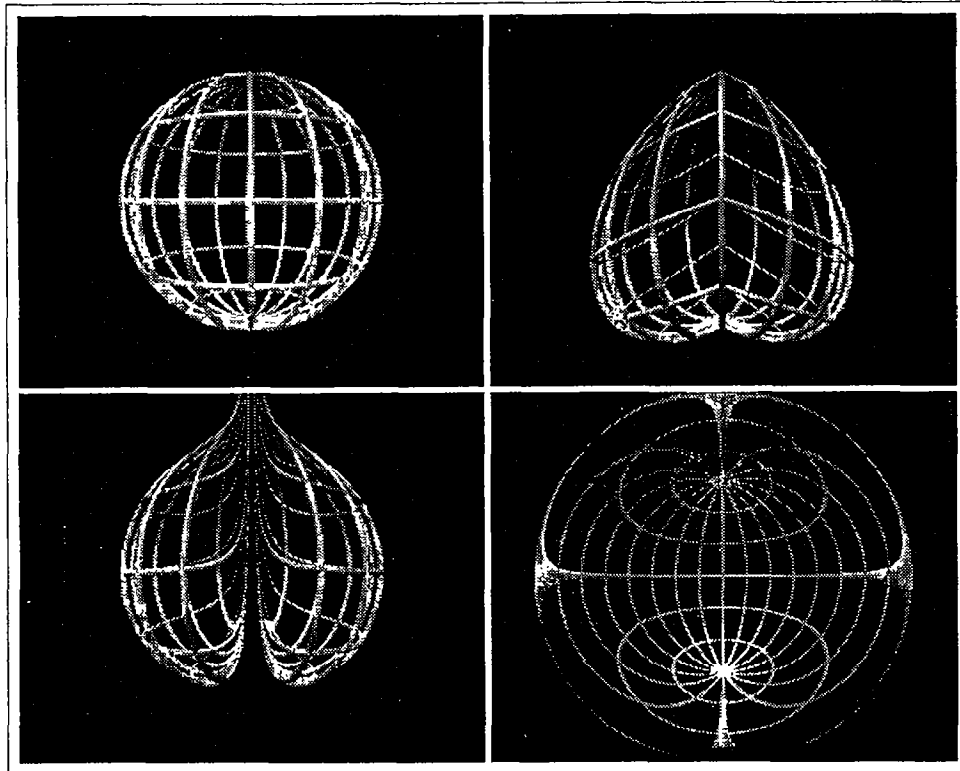


FIG. 5 - Photographie n° 1

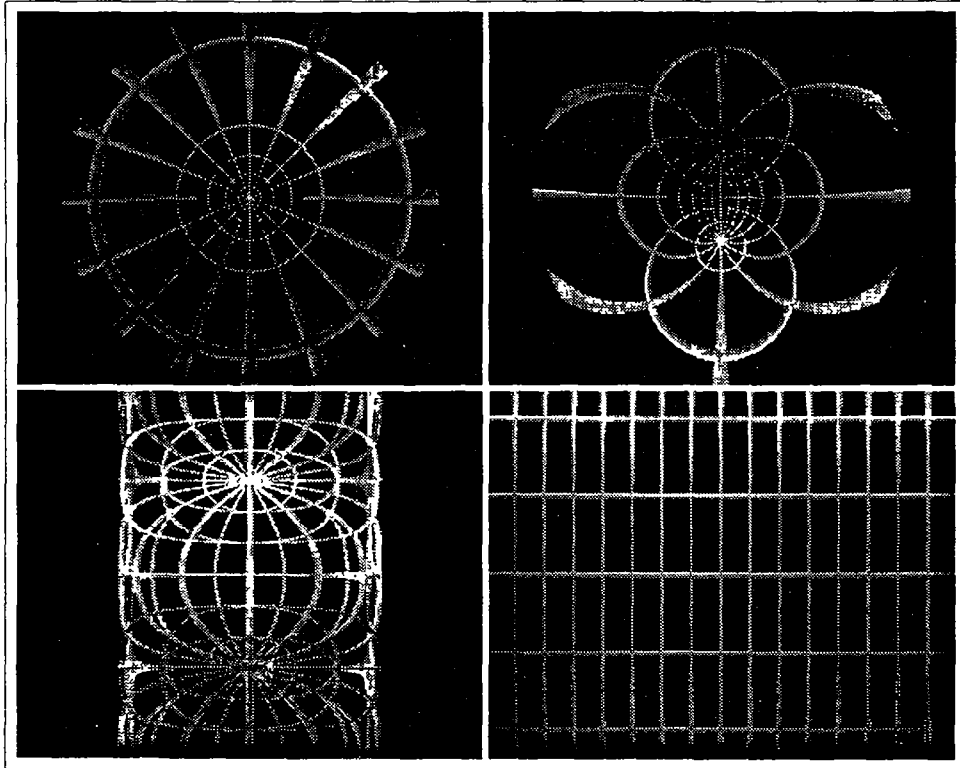


FIG. 6 - Photographie n° 2