

# Perception de l'espace et image de synthèse : vers une hypothèse d'expression des trois dimensions en dehors de la perspective conique conventionnelle

La perspective conventionnelle n'est, aujourd'hui encore, que rarement remise en cause. Elle est d'ailleurs systématiquement utilisée comme une référence absolue pour le calcul de l'image de synthèse, à travers un système de matrice de projection simulant un cône visuel. Il semble cependant légitime de s'interroger sur la pertinence des moyens traditionnels de représentation en perspective employés dans le cadre des nouvelles technologies. Dans cette optique, nous allons expérimenter une approche différente de la perspective dont les conclusions constitueront les bases d'une application à l'image de synthèse.

## I - La perspective conventionnelle : définition d'une norme

### 1.1 - Définition

**Perspective** nom féminin (du latin *perspectus*, vu à travers) : aspect des objets vus de loin. Représentation des objets suivant leur apparence pour un observateur dans une position donnée.

**Perspective** adjectif : se dit de l'art qui représente les objets en profondeur, sur différents plans, selon les lois de la perspective.

**Perspective esthétique** : perspective appliquée aux arts plastiques, dans laquelle les licences que prend l'artiste à l'égard de la géométrie sont appelées « dérogations. »

### 1.2 - Pourquoi cette norme ?

La perspective conique conventionnelle, découverte à l'époque de la renaissance, a pour objectif de reproduire le plus fidèlement possible l'ensemble des objets géométriques s'inscrivant dans le cône de la vision humaine. Des règles extrêmement précises constituent une véritable convention, en dehors de laquelle la perspective est considérée comme fautive, à l'exception de la notion de « perspective esthétique » évoquée ci-dessus.

La perspective conique conventionnelle prétend constituer une alternative plus exacte aux précédents modes de représentation de l'espace, comme par exemple la perspective pseudo-orthogonale, ou la perspective pseudo-cavalière (dont la projection à l'infini préserve le parallélisme) ou encore la perspective étagée<sup>1</sup>. Elle introduit notamment la notion d'échelle des hauteurs, qui permet de représenter avec exactitude le ratio de taille des objets projetés en fonction de leur éloignement dans la scène.

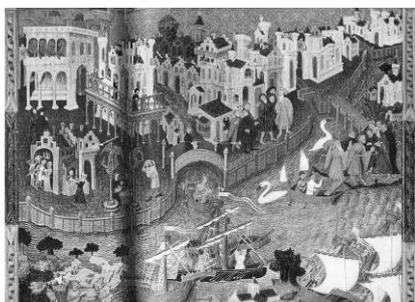


Fig. 1 : une perspective étagée

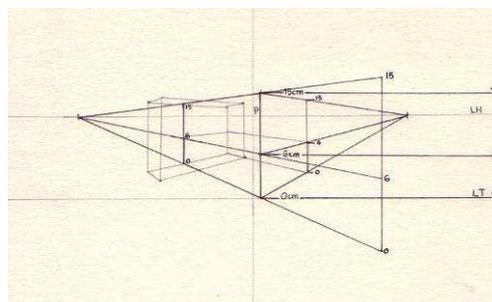


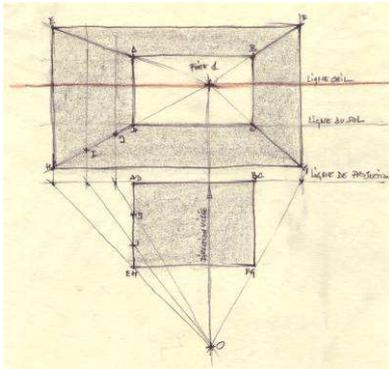
Fig. 2 : projection de l'échelle des hauteurs

<sup>1</sup> Perspective, employée notamment par les artistes primitifs et extrêmes-orientaux, qui transpose la profondeur en divers plans étagés

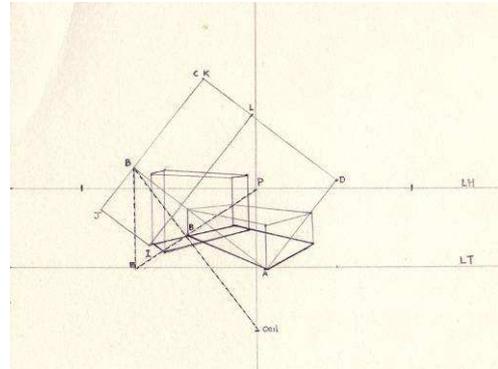
### 1.3 - Evolution vers un système à points de fuite multiples

La construction géométrique des objets en perspective s'articule autour de deux lignes horizontales : la *ligne d'horizon*, située à la hauteur des yeux et vers laquelle convergent les lignes fuyantes, et la *ligne de projection*, ou ligne de terre, qui constitue une véritable charnière entre le dessin en plan et le dessin en volume. Le système le plus simple de projection est la perspective parallèle illustré en fig. 3. Les lignes fuyantes de l'objet, qui est vu frontalement, convergent vers un unique point de fuite qui se trouve à l'intersection entre la ligne d'horizon et l'axe de visée. Il est admis que les lignes verticales restent toujours verticales et parallèles dans la projection.

Lorsque l'objet est vu obliquement, les fuyantes convergent vers deux points de fuite situés de part et d'autre de l'axe de visée (fig. 4.) Ce système dit « à deux points de fuite » peut cependant en comporter un nombre supérieur, si les arrêtes de l'objet ne sont pas parallèles. De même, les points de fuite peuvent se situer en dehors de la ligne d'horizon si l'objet n'est pas parallèle au sol.

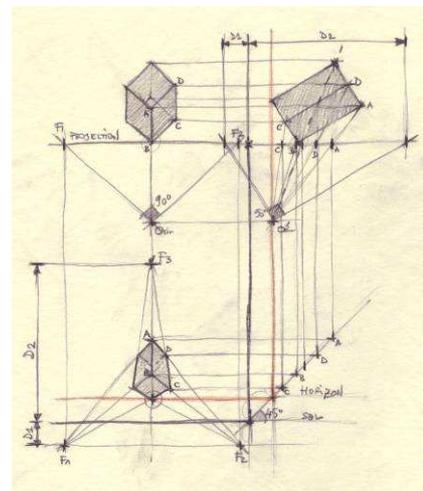
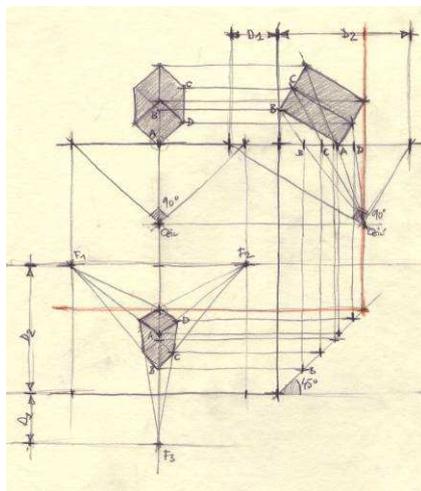


**Fig. 3 : projection en perspective parallèle, à un seul point de fuite**



**Fig. 4 : projection en perspective selon deux points de fuite**

Un système de projection plus complexe, dit « à trois points de fuite » permet la convergence des lignes verticales de l'objet, qui demeureraient strictement parallèles dans les deux exemples précédents. Selon la position de l'œil par rapport à l'objet, la projection sera en plongée (fig. 5) ou en contre plongée (fig. 6.) Nous verrons un peu plus loin que la perspective curviligne sphérique combine naturellement ces deux projections en une seule vue.



**Fig. 5 et 6 : projection en perspective selon trois points de fuite (à gauche, construction en plongée et à droite, en contre plongée)**

## II – Perspective curviligne : comprendre les mécanismes et démontrer l’existence d’informations nouvelles

### 2.1 – Définition

**Curviligne** adjectif : qui est formé de lignes courbes. ex : *triangle curviligne*.

*Abscisse curviligne* d’un point sur une courbe orientée : sa distance à partir d’une origine, comptée algébriquement le long de la courbe.

*Angle curviligne*, ou *angle de deux courbes*, angle des tangentes en un point commun.

*Coordonnées curvilignes* : le système de référence dans le plan est constitué par deux familles de courbes à un paramètre (pour l’espace, trois familles de surfaces). Les coordonnées d’un point sont les valeurs des paramètres correspondant aux courbes (ou surfaces) qui passent par ce point.

*Intégrale curviligne* : intégrale dont le domaine d’intégration est une courbe ou une portion de courbe.

### 2.2 – En quoi la perspective curviligne se distingue-t-elle de la perspective conique traditionnelle ?

La perspective traditionnelle cherche à représenter l’espace que nous percevons à partir d’un seul et unique point de vue, et en un seul moment. En ce sens, elle ne décrit pas une réalité, mais décrit l’espace, que nous comprenons en volume grâce à la vision, de façon *conventionnelle*, c’est-à-dire selon des codes pré-établis. Ces codes font appel à la notion de lecture de la perspective, qui implique elle-même la notion de culture préexistante<sup>2</sup>. La perspective conventionnelle, tout comme la perspective curviligne, représente une projection sur un plan donné, par conséquent selon deux dimensions, d’un espace que nous percevons et que nous comprenons, autrement dit que nous intellectualisons, selon trois dimensions.

Notre champ visuel étant très restreint, nos yeux compensent cette limite par leur mobilité. Grâce aux mouvements oculaires, nous percevons donc une multitude d’images successives, ce qui nous permet, par une *reconstitution synthétique* instantanée, de comprendre un espace dans sa globalité.

Bien qu’elle nous semble à priori visuellement plus exacte, la perspective conventionnelle livre cependant moins d’informations sur la nature volumique d’une scène que la perspective curviligne.

En effet, cette dernière correspond à ce que nous pourrions voir, de manière synthétique, si nous déplaçons notre regard de façon à balayer l’intégralité d’une scène. Afin de démontrer ce postulat, nous pouvons analyser différentes approches de la perspective (par le croquis et la photographie par exemple) et comparer les informations restituées : combien de faces d’un volume intérieur seront visible sur une vue unique, selon les différentes approches conventionnelles ou curvilignes ?

---

<sup>2</sup> par exemple, l’utilisation intuitive de la perspective par des étudiants en architecture européens s’appuie majoritairement sur l’emploi de lignes de fuites, tandis que les étudiants africains rechercheront majoritairement une construction intuitive à lignes parallèles, proche de l’axonométrie.

## 2.3 - Observation analytique par la photo : recomposition par assemblage

Afin d'illustrer notre propos par un exemple simple, nous allons chercher à construire une vue synthétique à partir de deux vues photographiques prises depuis un unique point d'observation. Seul l'angle de visée diffère entre les deux vues. Pour plus de clarté, les vues sont reproduites selon des formes géométriques simples, calquées sur les photographies.

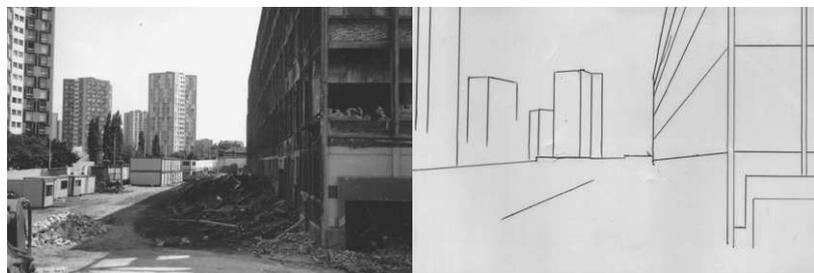


Fig. 7 : prise de vue à l'horizontale



Fig. 8 : idem en contre-plongée

Pour obtenir une perspective curviligne, nous allons superposer les deux vues schématisées (fig. 9) et relier leurs points remarquables, c'est-à-dire les intersections, par des courbes. Pour vérifier que le résultat est bien une perspective curviligne sphérique, nous allons essayer de l'inscrire sur une trame sphérique (fig. 10). Quelques défauts inhérents à la simplicité de l'exemple demeurent,<sup>3</sup> mais la juxtaposition sur la trame nous permet de conclure que les principes constructifs sont parfaitement respectés.

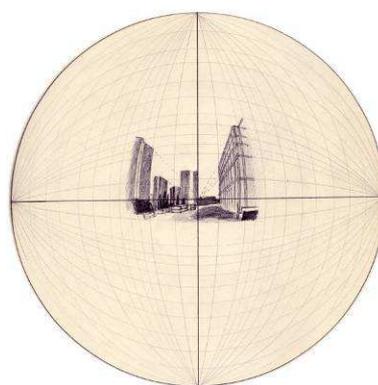
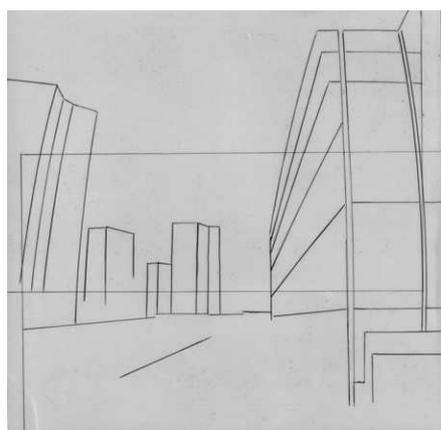


Fig. 9 et 10 : combinaison synthétique des deux prises de vue par des lignes courbes, et inscription de la perspective résultante sur une trame sphérique

<sup>3</sup> un résultat beaucoup plus juste aurait pu être obtenu en multipliant le nombre des vues, et par conséquent celui des axes de visée, dans le sens vertical, mais aussi horizontal.

Nous avons donc confirmé qu'il est possible de décrire, de façon synthétique, l'espace que nous observons grâce à un balayage visuel. Il nous reste maintenant à démontrer que cette représentation est plus riche en informations qu'une représentation conventionnelle. Ceci peut facilement être mis en relief grâce au croquis d'observation.

## 2.4 - Observation analytique par le croquis : les objets déformants

Pour représenter l'espace en croquis à partir d'un unique point de vue et sans avoir recours à une reconstitution synthétique, nous orienterons nos choix vers des objets dont la forme sphérique offre une vision naturellement curviligne. Nous nous appuierons sur deux exemples opposés, dont nous expérimenterons ensuite la combinaison, afin de tenter de percevoir encore plus d'informations sur l'espace que nous représenterons : *l'observation à travers un judas*, offrant une déformation grâce à une lentille fortement bombée et *l'observation d'une boule de Noël*, proposant un effet de miroir déformé. Les deux croquis d'observation seront ensuite décomposés selon leurs courbes de fuite approximatives.

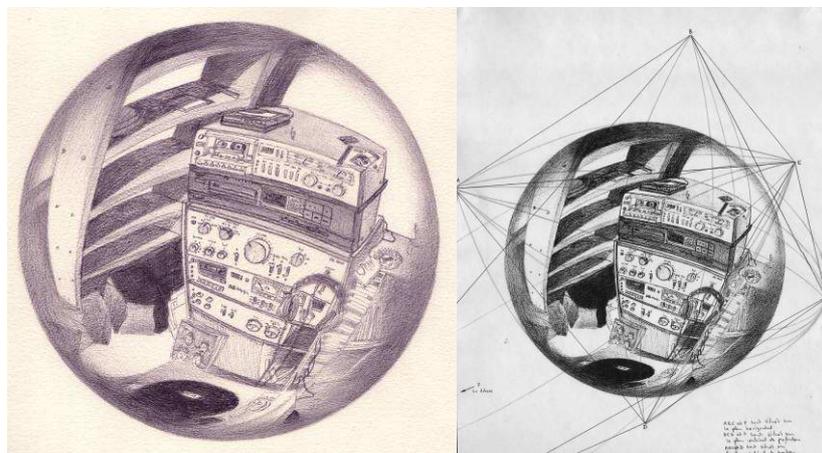


Fig. 11 et 12 : observation à travers un judas (courbes de fuite selon cinq grandes directions, la sixième étant très en dehors du champ)

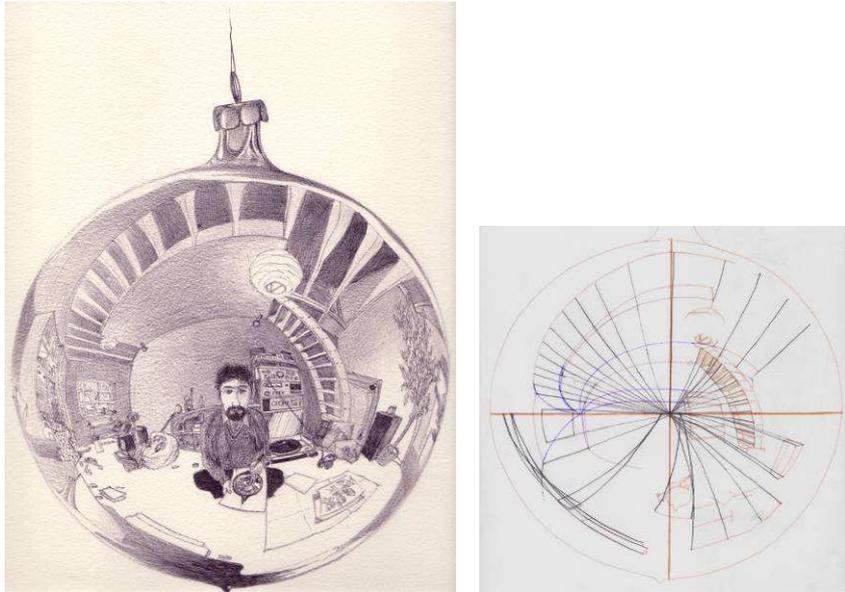
La représentation des objets observés à travers le judas (fig. 11 et 12) laisse apparaître cinq points de fuite parfaitement identifiables. Afin de ne pas perturber la lecture des fuyantes, la scène ne compte pas d'objet disposé en oblique, cependant nous avons choisi, dans un souci d'esthétique, de décentrer horizontalement et verticalement l'axe de visée.

Les objets parallèles entre eux laissent deviner trois grandes directions : l'axe gauche-droite, l'axe haut-bas et l'axe avant-arrière. Dans notre exemple, seule la fuyante arrière est projetée très en dehors de la feuille.

La déformation induite par la lentille et le manque de recul ne permettent pas, dans cet exemple, de distinguer simultanément plus de trois faces de la pièce observée (ici le mur de gauche, celui du fond et le sol.)

L'observation d'une boule de Noël propose une vision très différente (fig. 13 et 14.) La forme sphérique de l'objet induit intrinsèquement une vision frontale de la perspective curviligne. L'espace peut être découpé selon deux axes perpendiculaires dont l'intersection se situe au centre du dessin : l'axe de visée et la ligne d'horizon. Les fuyantes vont systématiquement converger vers ces axes, ce qui provoque un effet de repli vers le centre du croquis.

Dans cet exemple, cinq faces de la pièce sont parfaitement visibles, tandis que la sixième est à peine esquissée en périphérie de la boule.



**Fig. 13 et 14 : observation d'une boule de Noël, laissant apparaître les cinq faces de la pièce dans laquelle elle se situe ; les courbes de fuite convergent vers la ligne d'horizon et l'axe de visée**

L'emploi combiné des deux objets déformants (fig. 15) permet cette fois d'observer la totalité des faces de la pièce dans laquelle ils s'inscrivent. Malgré l'aspect fortement déformé, nous pouvons apercevoir par l'observation, donc sans aucune reconstitution synthétique, les fuyantes gauche et droite, haute et basse, avant et *arrière*, concrétisées par les six faces de la pièces.

On remarquera cependant que la face arrière de la pièce se trouve inversée en partie supérieure de la boule, ce qui crée l'illusion qu'elle s'oppose au sol situé en partie inférieure. Ainsi, nous pourrions dire qu'en dépit d'une apparence peu conforme aux habitudes de notre œil, ou bien de notre esprit, la représentation en perspective curviligne est plus riche d'informations que la perspective conventionnelle, qui ne peut en aucun cas représenter ce qui se situe derrière nous.



**Fig. 15 : observation d'une boule de Noël à travers un judas, laissant apparaître la totalité des faces de la pièce dans laquelle elle se situe**

## 2.5 - Application à l'image de synthèse

Suite à ces expérimentations par l'observation, nous pouvons émettre l'hypothèse d'une *réécriture par fragments* des algorithmes de projection de la perspective pour l'image de synthèse. L'expérimentation par la programmation donne actuellement des résultats cohérents pour les modes de représentation cylindrique par balayage vertical et horizontal. Une combinaison des deux balayages en fragments carrés, actuellement en cours d'élaboration, laisse entrevoir la possibilité de composer des vues synthétiques en perspective curviligne sphérique.

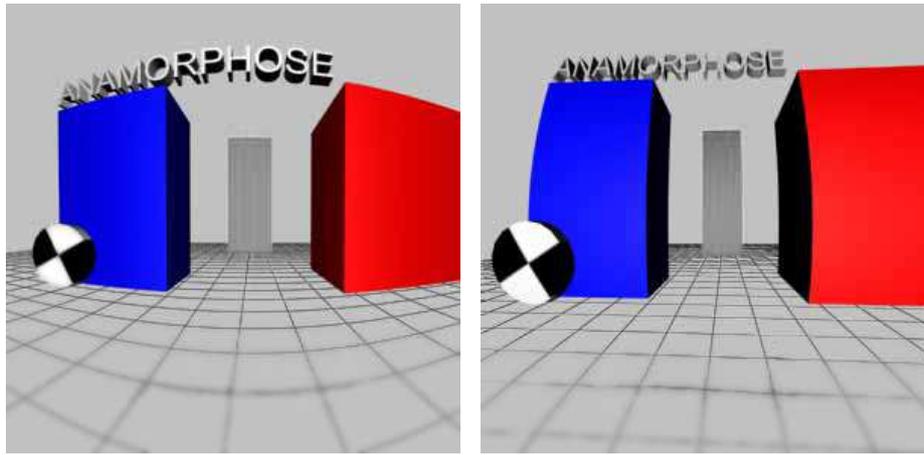


Fig. 16 et 17 : rendu curviligne cylindrique horizontal et vertical

En décomposant une vue selon différents angles de visée horizontaux, verticaux, ou à la fois horizontaux et verticaux, nous pouvons recomposer une image balayant une scène 3D. Nous utiliserons alors autant de systèmes de matrices de projection que nous aurons d'angles de vue. La finesse du rendu dépendra directement du nombre de systèmes de matrices mis en œuvre, l'image la plus fine étant celle qui compte un système par pixel. L'augmentation de la finesse induit, bien entendu, une augmentation considérable des temps de calcul et, avec certains langages, un accroissement des risques de plantage<sup>4</sup>. La gestion en « temps réel » sera quelquefois possible uniquement en traitement par groupes de pixels, organisés en bandes verticales ou horizontales, ou bien en gros fragments d'image carrés. Lorsque la finesse de l'image est inférieure à un pixel, il peut être nécessaire de tronquer un groupe de pixels pour respecter le cadrage originel de la scène.

Par rapport au croquis d'observation, la composition des perspectives curvilignes numériques offre l'avantage d'une construction rapide et surtout très fiable du modèle représenté. Les erreurs de jugement et les déplacements involontaires de l'œil sont ainsi évités. Ces deux approches peuvent être considérées comme complémentaires.

### III – Image en relief : rechercher la « sensation » de profondeur

#### 3.1 – Définition

**Stéréoscopie** nom féminin : ensemble des principes qui régissent l'observation binoculaire et ses moyens d'obtention.

Vision du relief, notamment à l'aide de stéréoscopes.

**Stéréoscope** nom masculin : instrument d'optique construit pour l'examen des couples stéréoscopiques, et permettant de voir le sujet en relief.

**Stéréogramme** nom masculin : assemblage de deux épreuves, photographiques ou dessinées, formant un couple stéréoscopique.

Représentation graphique de faits se rapportant à trois dimensions.

Montage d'un couple stéréoscopique prêt à l'observation.

<sup>4</sup> Les langages de type script saturent rapidement la mémoire vive sur ce type de traitement inhabituel : des tests effectués en MaxScript (3DStudioMax) et en C++ (Open GL et DirectX) montrent un écart de vitesse pouvant aller jusqu'à 950 fois !

Lorsque nous observons un élément en volume, les informations de profondeur nous parviennent en grande partie grâce à l'intellectualisation de deux messages visuels, correspondant aux images perçues par notre œil droit et notre œil gauche. Nos yeux, séparés en moyenne de 6,2 cm envoient vers notre cerveau une information visuelle selon deux points de vue différents. Ces points de vue sont comparés de façon à nous permettre d'éprouver une « sensation » de profondeur.

Il existe de nombreuses techniques, adaptées à la photographie, au cinéma, ou à la vidéo, qui permettent d'obtenir une image stéréoscopique, ou image « en relief. »

Ces techniques sont également utilisables lors du calcul des images numériques.

### 3.2 - Anaglyphe

Le rendu en anaglyphe associe deux vues en une seule image, par un calcul sur le pixel.

Le calcul de la vision stéréo est obtenu par superposition de deux couches teintées, l'une rouge et l'autre cyan, qui représentent deux vues de la même scène selon deux axes de visée décalés<sup>5</sup> d'environ 6,2 cm. Pour voir le relief sur l'écran ou sur le support papier, il faut disposer d'une paire de lunettes filtrantes, avec un verre gauche rouge et un verre droit cyan. Sur ce type de lunettes, le verre rouge est souvent insuffisant (il laisse passer des informations en cyan) et il faut alors le doubler pour qu'il soit efficace. Les informations relatives à la couleur de l'image sont généralement atténuées ou perdues lors du calcul. Il est quelquefois préférable de supprimer totalement les informations de couleur de l'image afin d'améliorer la qualité du relief. Le calcul est un peu plus long dans ce mode, mais l'image monochrome s'en trouve souvent améliorée.



Fig. 18 : anaglyphe nécessitant des lunettes filtrantes (rouge et cyan)

### 3.3 - Vision binoculaire : vision parallèle et vision croisée

La vision binoculaire offre l'avantage d'être perçue sans accessoire. Pour ce faire, la taille de l'image doit être d'environ 6,2 cm de largeur, ce qui correspond approximativement à l'écartement de nos yeux. Deux images, collées l'une à l'autre, représenteront la vision de notre œil droit et de notre œil gauche. Cette technique est particulièrement adaptée au format portrait.

En vision parallèle, pour voir le relief à l'écran ou sur papier, il faut prendre du recul (l'image doit être à la hauteur des yeux) et laisser les muscles des yeux se décontracter (regard dans le vague) afin que les axes de vision des deux yeux soient bien parallèles. On doit avoir

---

<sup>5</sup> le décalage des axes de visée est déterminé en fonction de l'échelle de la scène et doit correspondre à un écartement réaliste des yeux du spectateur ; un programme expérimental destiné à évaluer l'écartement virtuel des yeux en temps réel met en évidence les phénomènes de fatigue oculaire sur des profondeurs trop marquées.

l'impression de voir trois images (celle de gauche, totalement plate, celle du centre en relief et celle de droite totalement plate aussi.) Si l'impression de relief est mauvaise ou inexistante, la distance d'écartement des yeux est probablement mauvaise. L'utilisation d'un objet (par exemple une feuille de carton ou un cahier) peut faciliter la vision, l'objectif étant que l'œil droit ne puisse pas voir l'image de gauche et inversement.

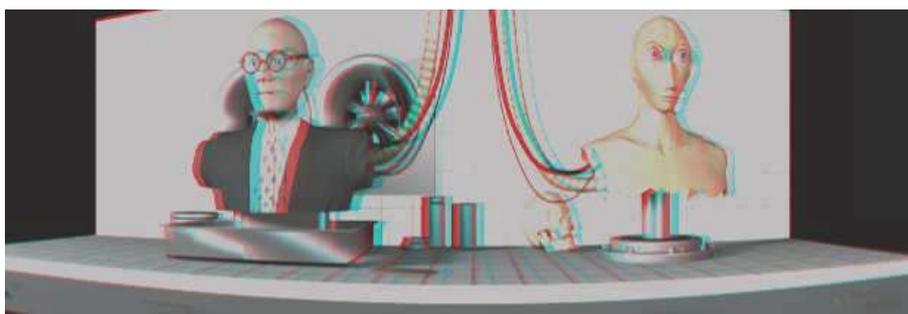


**Fig. 19 : relief en vision parallèle**

La vision croisée constitue une variante de la vision parallèle. Les images droites et gauches sont alors inversées, et il faut loucher pour voir le relief, l'œil gauche regardant l'image droite et inversement. Comme pour la vision parallèle, on a l'impression de voir trois images, mais ici celle du centre paraît un peu plus lointaine, comme en retrait par rapport au support où elle se trouve. L'utilisation d'un objet (par exemple un cache en carton, ou les mains jointes) peut faciliter la vision, l'objectif étant que l'œil droit ne puisse pas voir l'image de droite et inversement.

### *3.4 - Combinaison de la perspective curviligne et du relief*

Face aux difficultés de restitution de la profondeur selon une approche conventionnelle, la vision stéréo et les techniques de la perspective curviligne tentent d'apporter une ébauche de solution. Leur combinaison permet, pour une projection sur un plan 2D comme un écran ou une impression sur papier, d'exprimer plus de « sensations » de profondeur que la perspective conventionnelle, car cette dernière se limite à décrire l'éloignement des objets grâce au principe de l'échelle des hauteurs.



**Fig. 20 : combinaison de la perspective curviligne et du relief en anaglyphe**

## IV - Anamorphose : enrichissement et détournement « artistique » des algorithmes

### 4.1 - Les références artistiques

Après avoir démontré les limites de la projection conventionnelle, évoqué les avantages d'une approche différente de la perspective et expérimenté la programmation pour l'image de synthèse, nous allons tenter d'enrichir et de détourner les algorithmes que nous avons précédemment mis en œuvre.



Fig. 21 : nu descendant un escalier, M. Duchamp 1912

En s'inspirant des démarches et des modèles artistiques existants, nous pouvons orienter notre programmation graphique vers une utilisation plus poétique, qui constituera cette fois un moyen d'expression graphique à part entière : *l'anamorphose*.

En référence aux travaux photographiques et cinématographiques de décomposition des mouvements, les cubistes ont introduit un nouveau mode de représentation du volume. Un objet pouvait par exemple être vu simultanément selon plusieurs angles, ou être représenté au sein d'une même œuvre selon différents instants successifs. Les cubistes se sont inspirés de travaux, tels ceux d'Eadweard Muybridge, qui ont également servi de base aux futuristes pour exprimer la dynamique et la vitesse. Bien que peu conforme à une vision habituelle, une toile comme celle de Marcel Duchamp (fig.21) nous livre une expression très parlante

du mouvement qu'elle symbolise. Le sujet représenté semble déconstruit, puis recomposé en fonction du mouvement qu'il effectue. Au-delà d'une représentation tridimensionnelle, cette toile inclut une information supplémentaire : celle de *la durée*. Ce principe peut tout aussi bien être obtenu grâce aux nouvelles technologies.

### 4.2 - Application à l'image de synthèse

Pour démontrer ce postulat, nous allons tenter de créer, en images de synthèse, une représentation d'une scène 3D incluant à la fois les notions de *durée du mouvement* et de *multiplicité simultanée des points de vue*. Les images suivantes (fig. 22 à 24) représentent le vol d'un oiseau à partir d'un maillage simple, animé le long d'une trajectoire courbe. Les sommets qui décrivent ce maillage sont également animés pour simuler le battement des ailes de l'oiseau et l'effet d'appui sur l'air. Le programme de calcul est structuré de façon à proposer une rotation concentrique autour du maillage durant la phase de rendu.

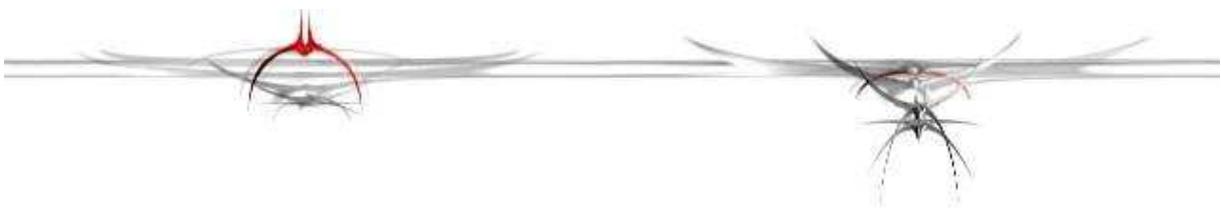


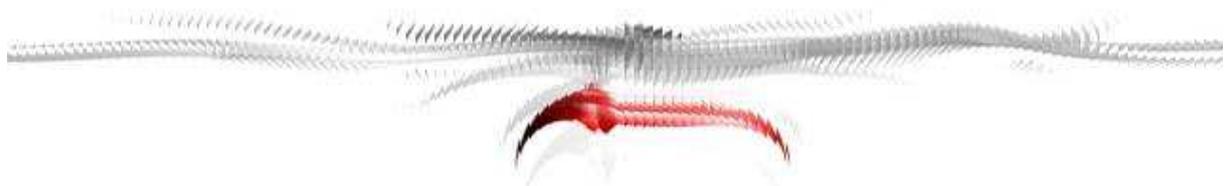
Fig. 22 : anamorphose régulière en Z à 360° du vol d'un oiseau en maillage 3D

Ainsi, l'image ne correspond pas à une simple déformation de la vue : on tourne véritablement autour de l'objet qui est représenté simultanément selon une multitude d'angles de visée. Afin d'être clairement visible sur une image fixe, la trajectoire et les mouvements de l'oiseau sont déclinés selon différentes opacités.



**Fig. 23 : anamorphose aléatoire en XY, et régulière en Z à 360°**

Nous obtenons donc, sur chaque image, l'expression de la durée à travers le mouvement, combinée à une représentation simultanée depuis plusieurs points de vue. Pour accentuer l'effet esthétique de ce type d'images, il est possible de fragmenter le rendu (fig.24.) Un module de rendu d'images animées est actuellement en cours d'élaboration. Il pourrait, bien entendu, être combiné avec les techniques de rendu en relief.



**Fig. 24 : anamorphose aléatoire en XY, et régulière en Z à 180° en fragments verticaux**

### Conclusion temporaire :

A la question : *une projection conventionnelle d'objets 3D sur un écran en 2D est-elle suffisante pour restituer la profondeur ?* nous pourrions répondre, bien que notre expérience culturelle nous permette de comprendre parfaitement cette représentation de la profondeur, que la dimension du ressenti fait cependant défaut.

Pour tenter de repousser les limites de la perspective conventionnelle, nous pourrions faire correspondre à chaque réalité physique observée une réponse pertinente de représentation selon les schémas suivant :

Dispositif naturel observé	Hypothèse de représentation
Deux yeux	Vision stéréo qui simule la « sensation » de profondeur
Mobilité oculaire	Perspective curviligne (assemblage des vues successives)
Mouvements du corps	Déplacements en temps réel du point de vue

### Table des illustrations (sources et bibliographie) :

Toutes les définitions (mots en gras) sont extraites du dictionnaire Larousse, édition 1979.

**Fig. 1** : *Tout l'univers*, ed. Hachette

**Fig. 2 et 4** : UV de perspective conventionnelle, ENSBA

**Fig. 3, 5 et 6** : extrait de cours *la perspective conventionnelle* (pour 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> année d'architecture) EAPLD

**Fig. 7 à 15** : expérimentations autour de la perspective curviligne, ENSBA

**Fig. 16 et 17** : programmation graphique, ATI Paris 8

**Fig. 18 et 19** : d'après le film *CAO*, ENSAD

**Fig. 20, 22 à 24** : programmation graphique, ATI Paris 8

**Fig. 21** : *Duchamp* de Janis Mink, ed. Taschen