

U.T.C. - Automne 1999  
SI22 - Sémiologie de l'image

# LES IMAGES DE SYNTHÈSE

**Version préliminaire du rapport  
6 novembre 1999**

Ce rapport est susceptible de subir encore d'importantes modifications.  
Vous trouverez le dossier complet avant le 1er février 2000 à cet endroit:

**<http://www.bigfoot.com/~sebsauvage>**

Cliquez sur l'onglet **U.T.C.**

L'image de synthèse, comme son nom l'indique, n'est pas issue d'une scène réelle, mais créée ou reconstituée par ordinateur. Avec la montée en puissance des ordinateurs et l'évolution des techniques, les images de synthèse se sont trouvées de plus en plus d'applications.

Dans ce dossier nous allons aborder divers domaines d'utilisation des images de synthèse ainsi que la pertinence de ces utilisations. Nous aborderons également dans un chapitre les techniques de base de l'image de synthèse. Cette partie technique permet de mieux comprendre les difficultés techniques et les enjeux de ce domaine.

# LE CINÉMA

Avec l'évolution des techniques, le cinéma est amené, de plus en plus, à utiliser l'image de synthèse. Bien sûr le domaine de la science-fiction est grand consommateur d'images de synthèse, mais nous verrons qu'elle peut également servir d'autres styles, et parfois de façon inattendue.

## TRON : Un précurseur

Ce film, produit par Walt Disney, est sorti en 1982. Le scénario met en scène des programmeurs qui se retrouvent dans la mémoire leur ordinateur. Ils doivent défendre leur vie lors de jeux organisés par le système.

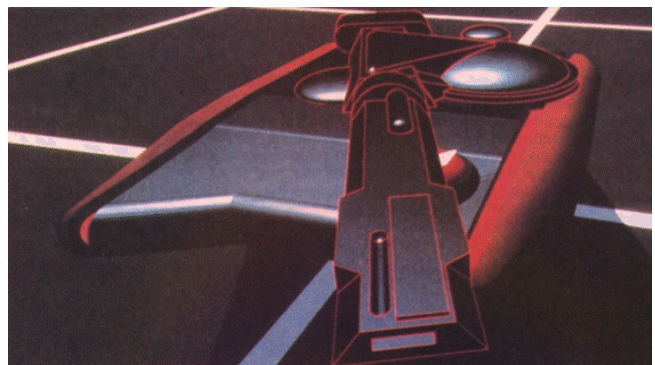
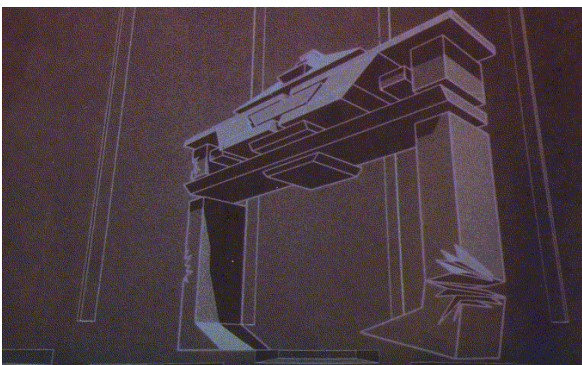
Bien que ces images ne soient pas très évoluées par rapport aux techniques actuelles, elles ne nuisent pas au film: Ce dernier étant censé se dérouler au cœur d'un ordinateur, les représentations sont très géométriques et symboliques.

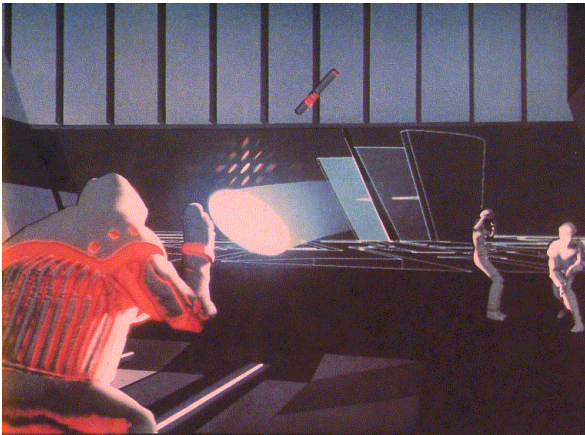
La raison de la simplicité des images est principalement due aux limitations des techniques de l'époque: un ordinateur équipé de 2 Mo de mémoire vive (contre 32 ou 64 Mo dans les machines de bureau actuelles) et 160 Mo de disque dur (contre 3000 à 6000 Mo dans les machines de bureau actuelles).

Toute augmentation de la complexité des images nécessite des moyens techniques plus importants. C'est pour cette raison que tous les objets du film sont créés à partir de formes géométriques simples (ellipsoïdes, parallélépipèdes, etc.). Vous trouverez dans la partie technique de ce dossier des exemples de formes de base ainsi que les différentes façons de les combiner.

Malgré la simplicité des images, ce film eu beaucoup de succès, et d'autant plus qu'il coïncide avec un fort développement des jeux vidéos.

Il préfigure les films de science-fiction actuels. Il est à noter que l'une des plus grosses difficultés de la technique – aussi bien à l'époque qu'aujourd'hui – est l'intégration des prises de vue réelles (acteurs, etc.) et des images de synthèse.





## Terminator 2

*Terminator 2* marque une étape dans l'évolution de l'utilisation des images de synthèse au cinéma : celui d'une bonne intégration de l'image de synthèse et de l'image filmée.

L'utilisation de l'image de synthèse est ici très différente de celle de *TRON* : l'image de synthèse n'est plus utilisée pour elle-même, mais pour représenter une "réalité" de façon qui semble physiquement plausible, même si les créatures de ce film sont imaginaires.

Le réalisateur a mis beaucoup de soin à l'intégration des images de synthèse aux images réelles (reflets de l'environnement, ombres...).



Le T1000, robot "liquide" tueur



Dans les images ci-dessus, on peut constater que le T1000 argenté reflète son environnement (ciel, sol, flammes, pilote). Le sol mouillé reflète également le T1000. L'utilisation de ces techniques nécessite un certain nombre de dispositions à prendre pendant le tournage (enregistrement du mouvement des caméras, des sources de lumière, enregistrement panoramique de l'environnement pour créer les reflets, etc.)

## Jurassik Park : le choc

*Jurassik Park* fut – comme les films précédents – un très gros succès commercial. On peut attribuer ce succès (en dehors de l'énorme campagne promotionnelle) au formidable impact psychologique : la résurrection des dinosaures à notre époque.

Le scénario met en scène un scientifique qui décide – à partir de fragments d'ADN – de reconstituer des espèces disparues et de les parquer sur une île du pacifique pour en faire un parc d'attraction. Mais les dinosaures s'échappent et s'ensuit un véritable carnage.

Steven Spielberg avait au tout début décidé d'utiliser des dinosaures mécaniques équipés de vérins hydrauliques et recouverts de peau en latex peinte. Quelques infographistes de son studio firent des essais dans leur coin pour voir ce qu'il était possible de faire en images de synthèse. Spielberg eut droit à une séance de projection de ces rushes. A la fin de la projection, il ne voulait plus faire les dinosaures qu'en images de synthèse. Les monstres mécaniques furent pratiquement tous abandonnés.





Dans *Terminator 2*, l'aspect "image de synthèse" était encore particulièrement visible (avec l'aspect chromé parfait du T1000). Ici, l'image de synthèse s'efface devant ce qu'elle veut représenter : des dinosaures vivants.

La modélisation (construction géométrique) des dinosaures, réalisé à partir de données scientifiques. Les données physiologiques (position de la peau, des muscles, tendons et os) ont été étudiées pour non seulement leur donner une forme réaliste, mais également pour simuler plus finement les mouvements de la peau et des muscles.

Comme vous pouvez le voir dans les images ci-dessus, l'intégration des images de synthèse est également très soignée :

- La position des éclairages des dinosaures correspondent bien à ceux de la scène filmée. Les ombres tombent ainsi au bon endroit.
- De nombreux effets ont été ajoutés par la suite : poussière, fumée, ruissellement des gouttes d'eau sur la peau des dinosaures, effets de lumière...

Le réalisme ainsi obtenu est parfaitement saisissant. Ce film est l'un des premiers d'une nouvelle génération de films où l'image de synthèse n'est plus un prétexte mais un outils à part entière, au même titre que le maquillage, les maquettes ou les prises de vue sur fond bleu. L'image de synthèse n'est plus utilisée systématiquement, mais différentes techniques sont choisies en fonction de leurs avantages et inconvénients.

Le film n'est plus au service de l'image de synthèse, mais c'est l'image de synthèse qui est au service du film.

Les progrès de l'image de synthèse en font un outil de plus en plus utilisé, mais jamais au détriment de la qualité. L'image de synthèse permet la concrétisation d'univers

toujours plus complexes et extraordinaires, c'est pourquoi la science-fiction est grand consommateur d'images de synthèse.

## Le cinquième élément : la bande dessinée à l'écran

Le réalisateur Luc Besson a pu – grâce entre autres aux images de synthèse – rendre à l'image un monde futuriste digne d'une bande dessinée.



Là, à la différence *Jurassic Park*, l'image de synthèse est utilisée pour représenter un monde futuriste.

Pourquoi la science-fiction est-elle la plus grosse consommatrice d'images de synthèse ?

On peut attribuer cela au fait que l'imagination débordante des scénariste ne permet la réalisation physique des décors et personnage de tel films, mais il faut également avouer que l'image de synthèse est une technique complexe à maîtriser, et que par conséquent la représentation réaliste d'éléments existants (corps humain, visages, fruits, etc.) est particulièrement difficile.

Il est donc plus facile de créer de toutes pièces des mondes totalement imaginaires que de tenter de reproduire la réalité. Prenons pour exemple le vaisseau du *Cinquième Element* voguant au dessus des vagues : il est assez aisé de créer un tel vaisseau, même pour un non professionnel.

Par contre, créer un visage humain ou une orange qui semble réaliste est extrêmement difficile. En règle générale, le plus difficile en images de synthèse est de représenter les être vivants existants et leurs mouvements. Il existe différentes techniques que vous pourrez retrouver dans la partie de ce dossier décrivant les techniques de l'image de synthèse.



## Starwars

*Starwars* est intéressant à examiner pour plusieurs raisons:

- l'univers imaginaire inventé est particulièrement cohérent, avec ses codes (comportementaux, vestimentaires, etc.). Il y a une certaine continuité dans différents long-métrages.
- Les différents films sont sortis à des dates très éloignées et on peut constater quel impact l'image de synthèse a pu avoir.
- George Lucas ayant des moyens très importants, il peut se permettre d'essayer différentes techniques et d'adopter la plus pertinente. Cette dernière semble de plus en plus être l'image de synthèse, comme a pu le voir dans son dernier film : *Starwars, episode 1*.

Le premier long-métrage de *Starwars* est sorti en 1977. Les développements de l'informatique ne permettent pas à l'époque d'intégrer des images de synthèse suffisamment réalistes dans le film : ainsi ce sont surtout les maquettes, matte-painting et autres techniques qui sont utilisées.

Le réalisateur George Lucas se senti d'ailleurs limité par ces techniques et décida 22 ans après la sortie d'un de ses film *Le retour du Jedi* de le reprendre afin d'ajouter des scènes et des effets spéciaux.



Dans l'image ci-dessus, les deux gardes en armure font partie du film original, alors que l'animal ainsi que le garde qui le chevauche ont été ajoutés 22 ans après. Les deux gardes à l'avant-plan sont des comédiens déguisés qui ont été filmés, alors que la créature et son cavalier à l'arrière plan ont été réalisés entièrement en images de synthèse.





Un dewback vue de côté

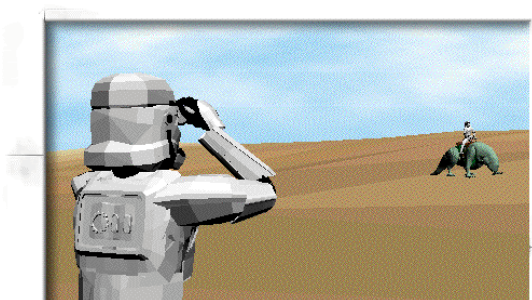
On peut constater la qualité du travail :

- l'excellente modélisation de la créature et du cavalier, renforcé par un travail soigné sur les textures (peau de la créature)
- les mouvements (déhanchement du cavalier lors du déplacement de l'animal, ainsi que les mouvements de la peau de l'animal).
- L'éclairage des images de synthèse correspondant bien à l'éclairage de la scène originale (notez l'ombre sous l'animal).

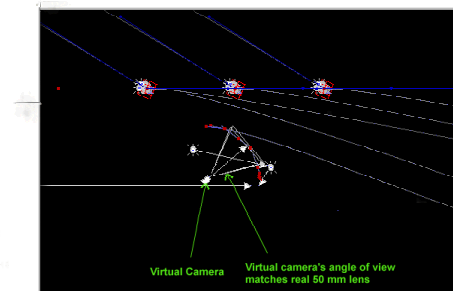
Il est donc possible de retoucher un film des années après sa sortie, mais ces techniques nécessitent un travail important. L'image de synthèse a permis ici de combler certaines lacunes dues à des limites techniques et/ou financières.

Le cas du dernier film de George Lucas (*Starwars : Episode 1*, sorti fin 1999) est différent : L'image de synthèse est adoptée comme solution technique dès le début du tournage:

- Elle est utilisée lors de l'élaboration du story-board pour faire des essais de mise en scène ou les mouvements de caméra:



Essai de mise en scène



Prévision des mouvements de caméra

- De nombreux personnages sont entièrement réalisés en images de synthèse, comme Jar Jar Binks (voir ci-dessous).
- L'image de synthèse est bien entendu utilisée pour créer des lieux et objets imaginaires.

L'un des faits marquants de *Starwars, Episode 1* est l'utilisation de personnage entièrement réalisés en images de synthèse.



**Jar Jar Binks, l'un des héros**

Voici donc Jar Jar Binks, l'un des personnages principaux du film. Le succès d'une telle utilisation tient en plusieurs points:

- Il peut exprimer une large palette d'expressions faciales.
- Il peut interagir avec les autres acteurs et son environnement (bousculades, manipulation d'objets...)
- Il possède un comportement propre (caractère, démarche).

Tout ceci a nécessité un important travail, notamment sur les mouvements de membres, de la peau et des vêtements. Ceci a nécessité le développement de logiciels spécialisés, en particulier pour les vêtements.

On retrouve également d'autres personnages secondaires ainsi réalisés:



**Sebulba, adversaire d'Anakin Skywalker**



**Watto, employeur d'Anakin**

Pourquoi les avoir réalisés en images de synthèse ? Il y a plusieurs raisons:

- Certaines morphologies ne permettent pas l'utilisation de comédiens costumés.
- Certains mouvements trop amples ou trop complexes ne peuvent être réalisés par des marionettes ou des animatronics.
- Certains mouvements subtils (tremblements, mouvements très rapides, sauts, vol) sont pratiquement impossibles à réaliser avec des marionettes. Ainsi les ailes de Watto ne sont pas réalisables en marionettes car elles nécessitent un battement très rapide.

Tout comme pour Jar Jar Binks, ces personnages bougent en accord avec leur morphologie et leur caractère.

Vous retrouverez dans la partie technique de ce dossier différentes méthodes qui permettent de donner mouvement aux personnages tels que le KeyFraming, Motion capture, etc.

Ainsi, *Starwars, Episode 1* marque un nouveau tournant dans l'utilisation des images de synthèse au cinéma: celui des acteurs virtuels. On peut raisonnablement supposer que ces techniques vont être de plus en plus courantes.

Elle sont également eu l'occasion de service dans des cas plus curieux, comme nous le verrons plus loin.

Starwars a également bénéficié de l'image de synthèse pour les décors: il permettent de faire des économies substantielles en décors et maquettes. Il est facile de reconstituer des villes complètes. Une fois un lieu créé, il est très facile d'y faire évoluer la caméra selon tous les mouvements voulus avec un minimum d'effort.



Les différents plans d'ensemble ou paysages sont toujours réalisés et cadrés avec soin : il s'apparentent souvent à des tableaux. L'image ci-dessus fait immédiatement penser à des villes byzantines, comme Venise ou des bâtiments comme le Vatican.

Notez la construction soignée du tableau : Le tiers bas est occupé par l'eau, le tiers central par la terre, et le tiers supérieur par le ciel.

De gauche à droite, on peut noter une augmentation de la luminosité : un arbre et des bâtiments dans l'ombre sur la gauche, jusqu'aux bâtiments éclairés à droite. Ce mouvement est renforcé par les raies de lumière tombant des nuages.





Cette image rappelle certains tableaux narrant le départ en guerre de héros à la tête d'une armée, ou peut aussi suggérer des scènes d'exode.

On retrouve encore ici une proportion  $2/3$   $1/3$  : Les deux tiers inférieurs pour la terre, et le tiers supérieur pour le ciel.

L'orientation du "personnage" à l'avant plan dirige notre regard vers la droite. Ceci invite notre regard à accompagner le mouvement des troupes vers la droite et vers le fond de l'image, à la limite du ciel et de la terre. Dans le ciel, les vaisseaux sont également en mouvement vers ce point

## The Crow

Ce film n'est pas un film de science-fiction mais un film fantastique. Il fait très peu usage des images de synthèse. Mais ces dernières ont été utilisées pour permettre de terminer le film.

Le film avait en effet été arrêté à cause de la mort de l'acteur principal lors du tournage d'une scène (Brandon Lee, le fils de Bruce Lee). Sans l'acteur principal, impossible de terminer le tournage des scènes restantes et de boucler le film.

Il fut décidé d'utiliser les images de synthèse et le trucage numérique pour incorporer l'image de l'acteur dans les scènes restantes. Il est absolument impossible de voir dans le film les moments où l'acteur a été incrusté.

Ce film est une admirable démonstration d'une utilisation judicieuse des images de synthèse. C'est également l'un des meilleurs exemples d'utilisations où l'image de synthèse est totalement invisible.

De telles utilisations "invisibles" de l'image de synthèse se retrouvent de plus en plus dans d'autres styles de films comme *Forest Gump* ou *Le Titanic*.



## Les films d'animation

Ces dernières années, nous avons pu voir au cinéma des films d'animation comme *Toy Story*, *Fourmiz* et *1001 Pattes*. Ces films s'apparentent plus au dessin animé qu'au film. Les coûts de tels films sont loins d'être négligeables car elles nécessitent des techniciens hautement qualifiés et du matériel coûteux.



**Toy Story**



**Fourmiz**

Comme vous pouvez le voir sur l'image de gauche, les matières (bois, tissus) sont beaucoup moins recherchées que dans des films comme *Starwars* ou *Jurassik Park*. Les mouvements sont également moins travaillés. Ceci a peu d'impact sur le résultat final, étant donné que le genre s'apparente au dessin animé ; les besoins de réalisme sont moins grands.

On pourrait donc penser que le coût de réalisation de tels films est moindre, mais la quantité d'images à créer est beaucoup plus importante (plus d'une heure de demi contre quelques minutes pour un film "normal").

De plus, une fois les scènes conçues, il faut un certains temps à l'ordinateur pour calculer l'image finale (opération appelée "rendu" : voir la section technique). Au cinéma, 1 seconde de film nécessite 24 images.

Il faut approximativement 130 000 images pour un film d'une heure et demi. Etant donné qu'une seule image de synthèse peut nécessiter plusieurs heures (voir plusieurs jours) de calcul, il est facile d'imaginer le temps que peut prendre la création de tels long-métrages.

# LA VISUALISATION SCIENTIFIQUE

Les sciences sont également gros consommateurs d'images de synthèse. Les différents domaines de sciences étant de plus en plus pointus, il devient de plus en plus difficile d'interpréter des résultats d'expérience ou de simulation. Ces données se présentent la plupart du temps sous forme d'une énorme quantité de chiffres que ne sont pas humainement compréhensibles.

Comme le dit l'adage : "Un dessin vaut mieux qu'un long discours". L'image de synthèse apporte là une aide précieuse. Elle peut:

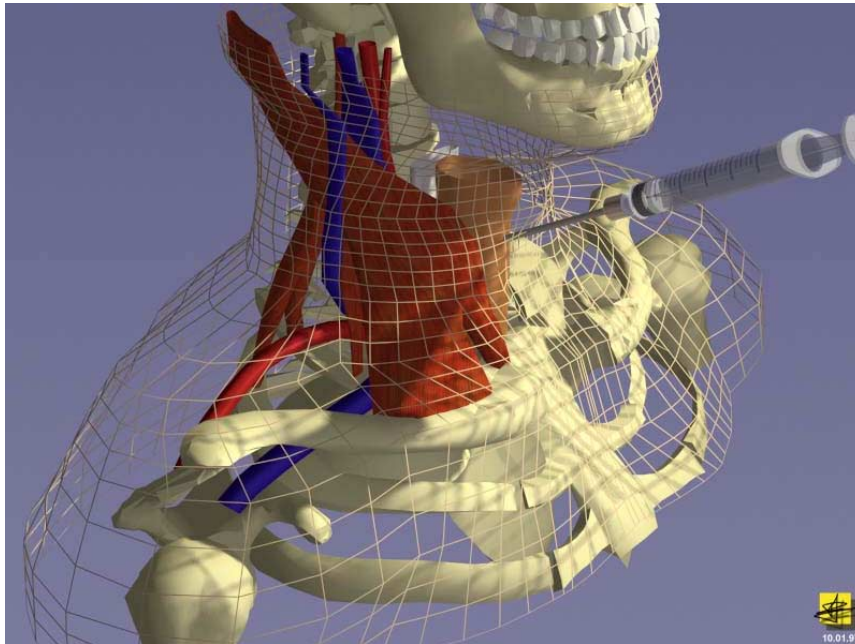
- représenter visuellement un ensemble de données complexes.
- représenter des données temporelles (variations d'un phénomène dans le temps)
- représentation à différentes échelles : pour représenter des phénomènes très petits, très grands, dont les variations sont très faibles ou qui sont peut-être visibles.
- permettre de valider visuellement des modèles
- aider à la communication scientifique.

On peut citer diverses applications:

- Simulation d'interaction atomique et moléculaire : cela permet aux scientifiques de tester les arrangements atomiques pour tester de nouvelles molécules, ou aux étudiants de mieux comprendre les interactions atomiques.
- Simulation d'écoulement de fluides : l'ordinateur peut remplacer les souffleries, simuler l'écoulement de fluide autour des hélices ou des coques de navires, simuler l'écoulement de l'eau dans une vallée à la rupture d'un barrage, simuler l'écoulement des fluides dans un moteur, etc.
- Représentation de phénomènes climatiques : température, humidité, couche d'ozone. Les cartes météo en sont un très bon exemple.
- Représentation virtuelle de lieux : Mars, la lune.
- Représentation des reliefs des fonds sous-marins.
- Traitement des images satellite pour extraire des données topographiques (routes, relief, types de terrain).

Les applications sont multiples, mais l'un des domaines les plus spectaculaires et qui risque de nous toucher de plus près est celui de la médecine.

Le Faunhofer Institute est une université qui développe un système capable de combiner les données bidimensionnelles très diverses issues des radios aux rayons X, des échographies, des images RMN (Résonance Magnétique Nucléaire) et d'autres afin de présenter au chirurgien une vue tridimensionnelle du patient et de la zone à traiter.



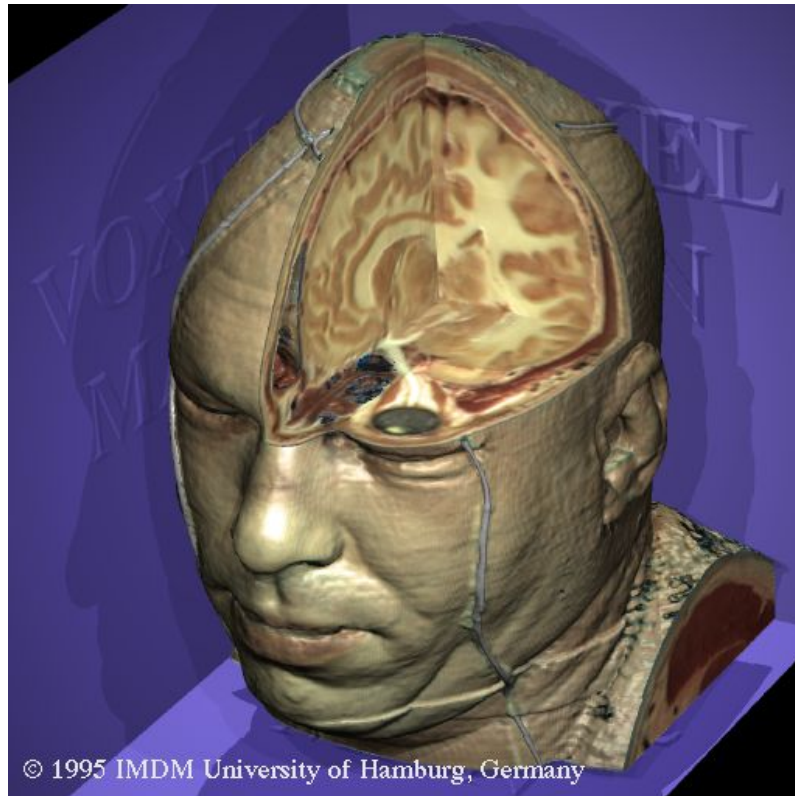
**Simulation de ponction à partir de données anatomiques**

Un autre système couple un appareil d'échographie à un casque et permet au médecin de visualiser l'échographie directement sur le patient en manipulant la sonde échographique : il n'a plus à quitter le patient des yeux et voit les organes à leur place réelle, comme si il voyait au travers du patient.

Je terminerai enfin par *The Visible Human Project*. C'est l'un des projets d'anatomie les plus ambitieux et qui permet déjà d'avoir des vues du corps humain tout à fait exceptionnelles:

Aux Etats-Unis, un condamné à mort a donné son corps à la science. Son corps a été congelé et découpé en fines tranches d'un demi-millimètre. Chaque tranche a été photographiée et mémorisée dans un ordinateur. Ces informations (plusieurs dizaines de Giga-octets) ont été mis à disposition de la communauté scientifique.

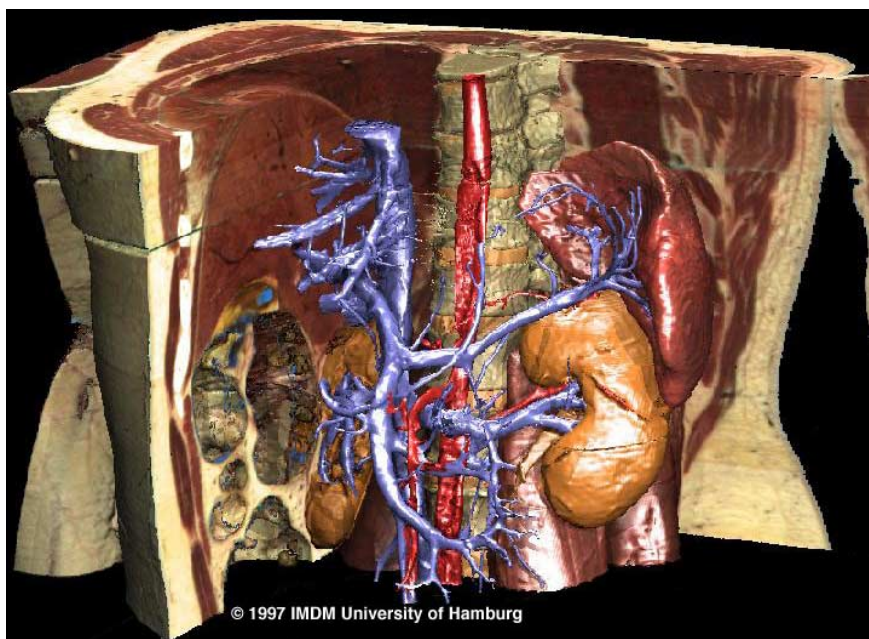
Une université allemande a utilisé ces données pour créer des vues tridimensionnelles du corps humain.



**Vue en couleurs réelles de la tête**

La tête – et son contenu – que vous pouvez voir ci-dessus sont en couleurs réelles. L'image de synthèse permet ici de rentrer dans le corps humain et de le voir tel qu'il est (ou du moins tel que l'ordinateur l'a mémorisé).

A partir de ces données (très complexes), il est possible d'extraire différentes informations, tel qu'il est fait ci-dessous:



**Vue de l'intérieur du tronc (en partie en couleurs réelle et en partie en fausses couleurs)**



Les veines et artères ont ici été artificiellement colorées, ainsi que divers organes. L'image de synthèse permet ici de révéler des informations qui sont déjà présente, mais pas évidentes.

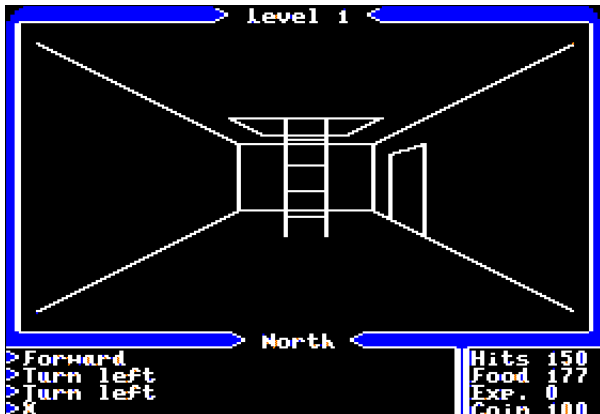
Ces informations permettent d'avoir une vue anatomique du corps humain plus précise (on a à cette occasion découvert plusieurs erreurs dans les manuel d'anatomie), et les données extraites permettent de créer des modèles utilisables pour des simulations d'intervention.

Ces informations commencent également à servir dans le pilotage de robots chirurgicaux.

# LES JEUX VIDÉO

Les jeux font partie de l'informatique depuis ses tout premiers débuts. Les images les plus complexes nécessitant des ordinateurs plus puissants, c'est avec l'augmentation des performances et la baisse des prix que nous avons pu avoir accès à des jeux de plus en plus beaux.

On peut constater l'évolution de la qualité des images avec ces jeux:



Ultima I (debut 80)



Wolfenstein (1992)



Doom ( 1993)



Quake (1995)



Unreal (1999)



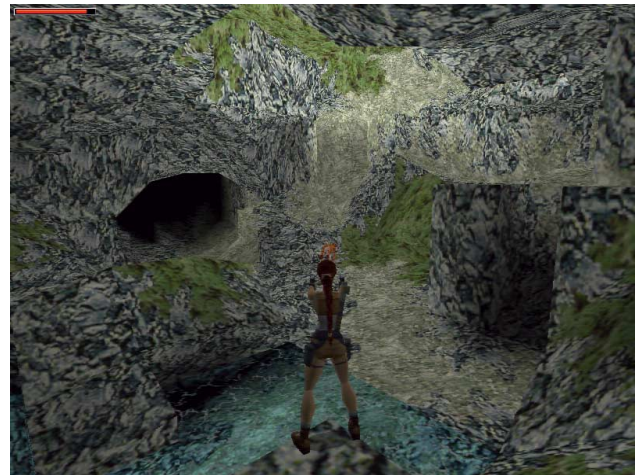
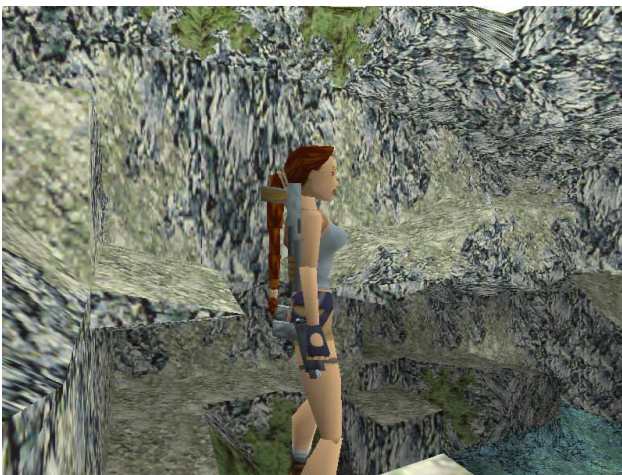
Homeworld (1999)

Bien que la qualité des images soit encore loin de la qualité cinéma, le réalisme de ces images n'a cessé d'augmenter pour le plus grand plaisir des joueurs.

## Créatures virtuelles

Ces dernières années ont pu voir le développement des créatures virtuelles, sortes d'être vivant dans les ordinateurs. C'est une vision un peu naïve, mais il faut dire que certaines société dépense beaucoup d'énergie pour leur donner vie.

Citons tout d'abord **Lara Croft**, égérie pulpeuse d'un jeu d'aventures à la Indiana Jones.



Lara Croft dans une caverne

Elle a eu plus de succès que le pensaient leur créateurs, si bien qu'au second épisode du jeu, Lara s'est vue gonfler la poitrine.

Pourtant, cela n'est rien comparaison de **Kyoko Date**, une créature virtuelle issue du Japon. De physique beaucoup plus fin, elle dispose d'une image de marque incroyable au Japon. Il faut dire que ses créateurs ont tout fait pour lui donner vie : des musiques, des clips vidéos, des reportages sur sa vie et sa maison, des invitations dans des émissions de variété.

L'illusion est si bien entretenue qu'une cohorte de fans s'est constitué, prêt à tout pour leur vedette.

# L'INDUSTRIE

[chapitre à venir]



# LES BASES DE L'IMAGE DE SYNTHÈSE

Il peut être intéressant de comprendre comment fonctionne les images de synthèse et comment elles sont créées. Cela permet sans aucun doute de mieux cerner les difficultés de mise en œuvre et les enjeux.

La conception d'images de synthèse se décompose en plusieurs étapes, chacune possédant différentes techniques et méthodes.

- modélisation
- texturage
- éclairage
- caméra
- animation
- effets (pour le réalisme)
- rendu
- intégration

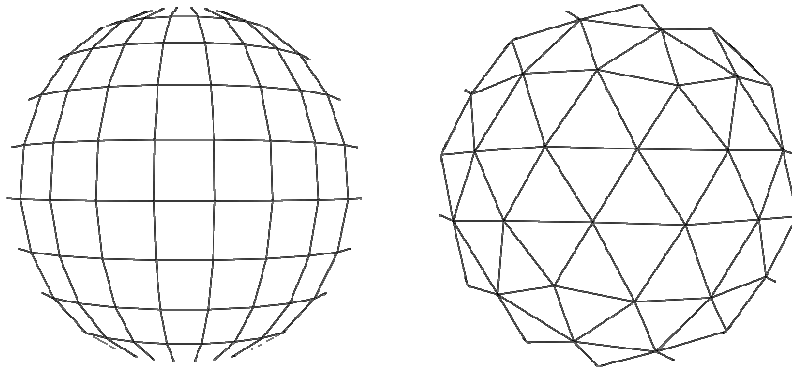
Nous allons détailler ces différentes étapes de façon très visuelle.

## Modélisation

C'est l'étape qui consiste à construire l'objet, à définir sa géométrie. Par exemple, pour une sphère, on peut utiliser son équation. Toutefois, travailler avec uniquement avec des équations est très lourd.

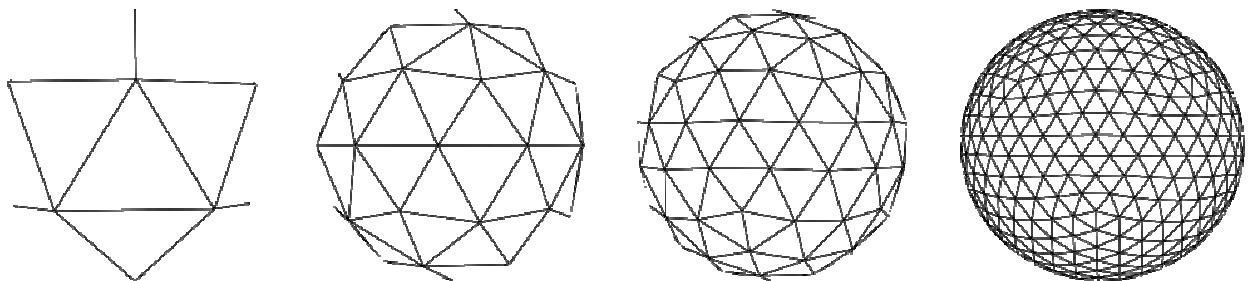
Cependant, l'ordinateur est plus à l'aise à manipuler des triangles (définis par trois points), plutôt que des équations. C'est pourquoi on travaille la plupart du temps avec un maillage de triangles qui sont proches de l'objet que l'on veut représenter. L'autre avantage de ces triangles est qu'il est facile de les manipuler pour déformer les objets.

Voici par exemple comment on définirait une sphère:



**Deux représentation de sphères possibles à partir de triangles**

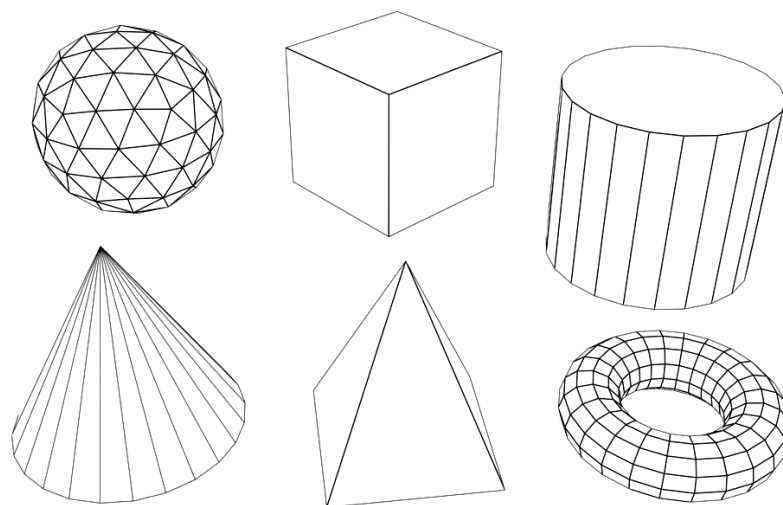
Bien sûr, elle n'est pas parfaitement sphérique, mais cela suffit la plupart du temps. On peut bien sûr utiliser plus ou moins de triangles pour définir l'objet.



**Une sphère représentée avec différents nombres de facettes**

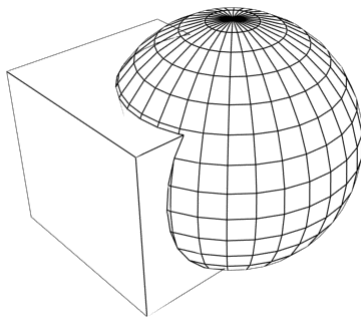
Plus on utilise de triangles dans une image, plus l'image est précise, mais plus il faut des ordinateurs puissants pour créer, manipuler et calculer les images.

On dispose ainsi de toute une série d'object de base:

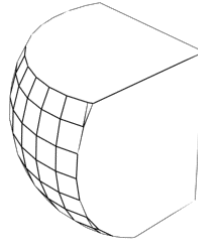


**Des objets de base:  
sphère, cube, cylindre,  
cône, pyramide, tore**

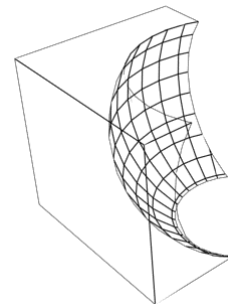
Il est possible de combiner ces objets. On peut par exemple effectuer des **opérations booléennes** avec un cube et une sphère:



**union**

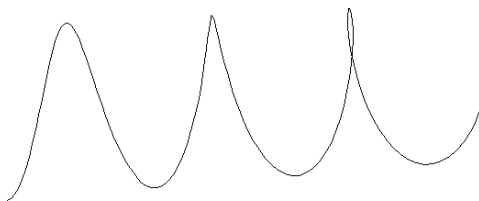


**intersection**

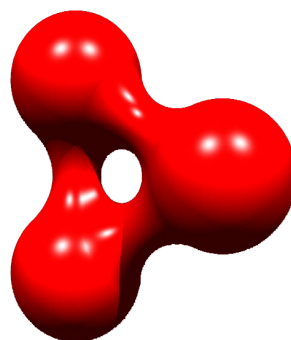


**soustraction**

Il existe d'autres méthodes pour créer ces objets, par exemple les **extrusions**. Par exemple, on peut extruder un carré sur une spirales:



On peut également utiliser les **metaballs**. C'est un peu comme une surface qui serait tendue sur des sphères. Certaines sphères peuvent être attractives ou répulsives. Voici un exemple avec 3 sphères attractives.

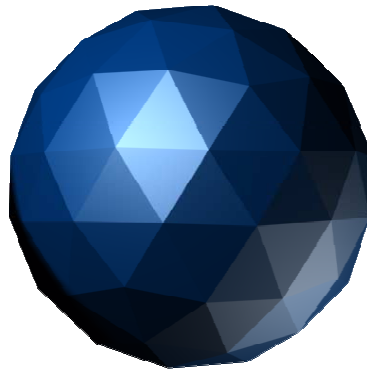


Les metaballs nécessitent un peu plus de calcul, mais elles sont très pratiques pour modéliser des formes naturelles, en particulier les corps, les membres, etc.

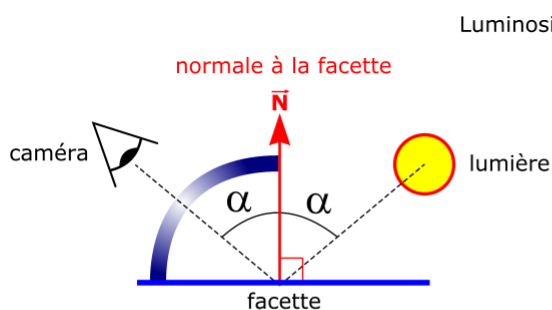
En faisant bouger les metaballs pendant les mouvements, on peut simuler les mouvements des muscles sous la peau.

Il existe d'autre méthodes, comme les scanners 3D qui permettent d'enregistrer dans l'ordinateur directement la géométrie d'objets réels.

Enfin, pour calculer l'image finale de l'objet, on va remplir ses facettes avec des couleurs:

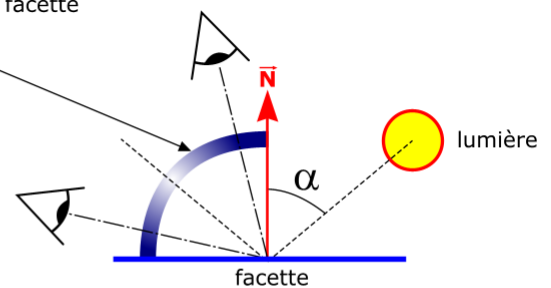


On a rempli les facettes avec différentes teintes de bleu pour donner une impression de relief. On choisit ces teintes en fonction de l'orientation de la facette avec la lumière.



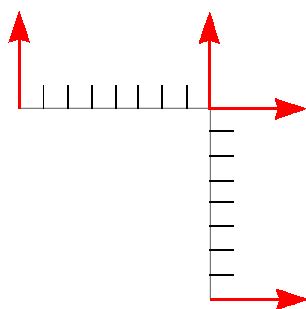
Si l'angle entre la caméra et la **normale** est égale à l'angle entre la lumière et la **normale**, la luminosité de la facette est maximale.

Luminosité apparente de la facette

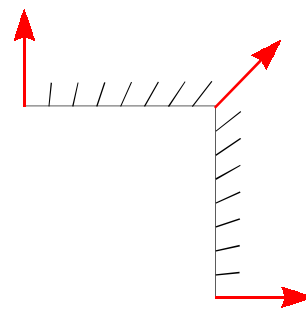
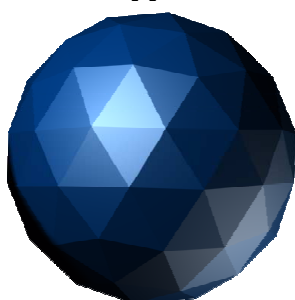


Si cet angle augmente ou diminue, la luminosité de la facette est diminuée.

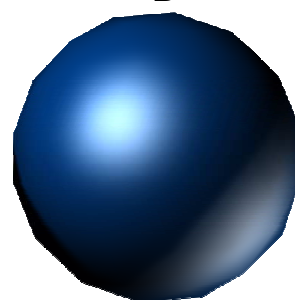
Le problème est qu'avec cette méthode, la sphère n'a pas l'air très ronde. Il y a un moyen de lui rendre un aspect plus lisse.



A



B



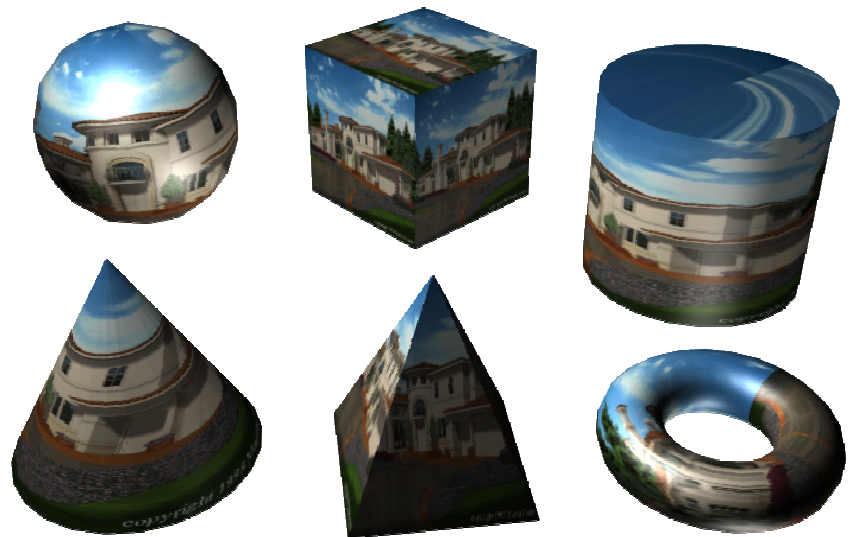


Dans le cas **A**, les normales entre les facettes sont discontinues, donc les facettes paraissent disjointes. L'astuce consiste à unifier les normales entre chaque facette (comme dans le cas **B**). Puis il suffit d'interpoler (c'est à dire de calculer les valeurs intermédiaire) entre les normales.

Les transitions entre facettes sont ainsi plus douces : la sphère paraît lissée, même avec très peu de polygones. On peut appliquer cette méthode à n'importe quel objet.

## Texturage

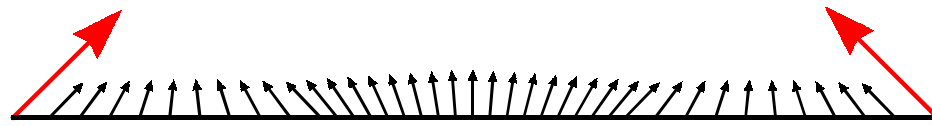
Après avoir modélisé un objet, on doit choisir l'aspect de sa surface. On peut se contenter de lui donner une couleur (comme dans les exemples ci dessus), mais on peut aussi plaquer une image dessus.



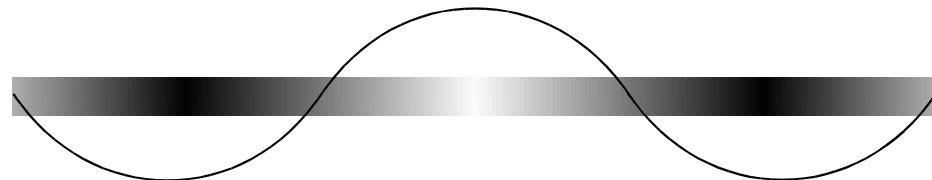
On peut également donner un relief à la surface sans même modifier les facettes elles-mêmes : le **bump mapping**. Cela consiste à modifier la normale sur une partie de la facette pour donner l'impression de relief.



bump map

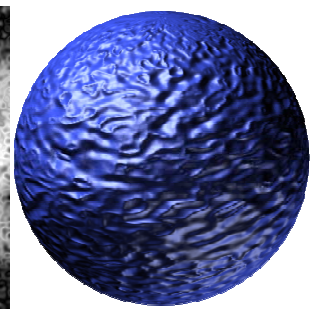
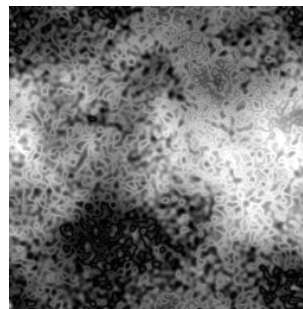
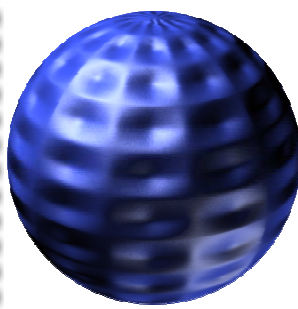
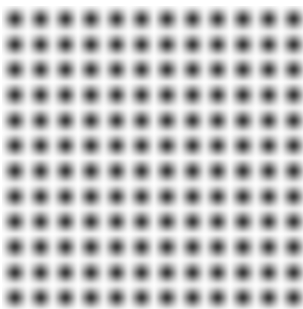


modification de la normale

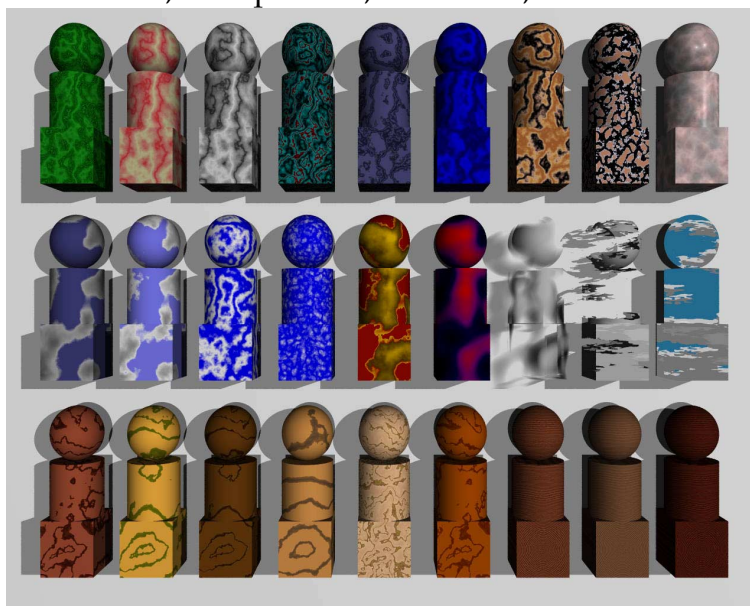


aspect du relief de la facette

Voici ce qu'on peut obtenir avec les bumps suivants:



Il existe de nombreux autres paramètres sur lesquels on peut influencer pour donner l'aspect voulu à une surface : brillance, transparence, réflexivité, etc.

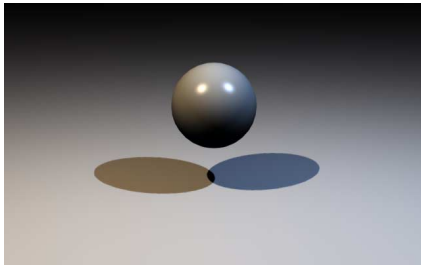




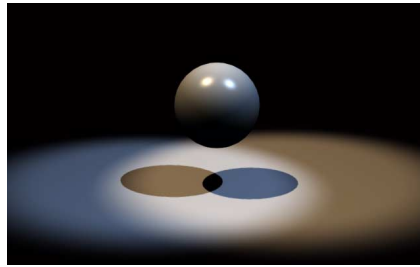
Certains scanners 3D sont capable de récupérer – en plus de la géométrie – la couleur des différentes parties de l'objet. Cela permet par exemple d'obtenir très rapidement un modèle de visage presque directement utilisable.

## Eclairage

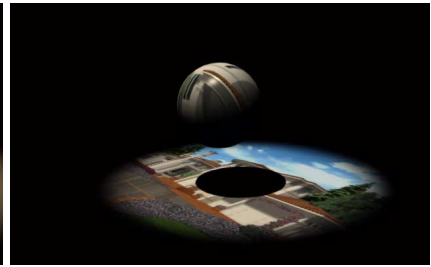
Après avoir modélisé et texturé les objets, il faut encore les éclairer. On dispose pour cela de différents types de lumières.



**Lumière omnidirectionnelle  
(= ampoule)**



**Spot**



**Projecteur**

Les deux images de gauche sont éclairées avec une lumière orangée (située en haut à gauche de la sphère) et une lumière bleue (située en haut à droite de la sphère).

Il existe bien sûr d'autres systèmes d'éclairage, mais ces 3 systèmes sont très utilisés.

L'éclairage d'une scène n'est pas une étape facile : il faut réussir soit à mettre en valeur le sujet, soit à rendre un aspect naturel à la scène (par exemple simuler l'éclairage du soleil dans une pièce).

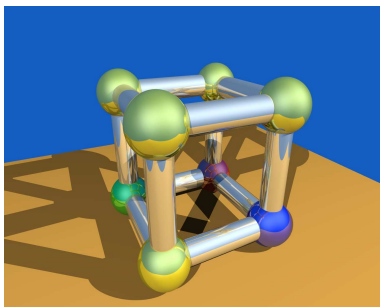
De plus, si l'image de synthèse est destinée à être intégrée à une scène filmée, il est nécessaire de reproduire l'éclairage de la scène d'origine. Pour cela, on note lors du tournage la position, la couleur et la puissance des éclairages utilisés lors du tournage.

## La caméra

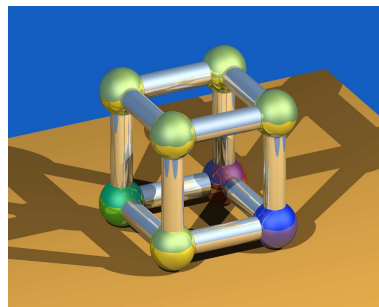
L'avantage des images de synthèse est que l'on peut effectuer des mouvements de caméra très complexes impossibles à réaliser dans la réalité. En particulier, on peut lui faire traverser des murs, entrer dans l'eau et ressortir aussitôt pour voler dans le ciel.

Il arrive également qu'on utilise ces caméras virtuelles pour tester des mises en scène et des mouvements de caméra. Cela permet de tester le cadrage et d'adapter au mieux les positions des différents éléments de la scène avant le tournage.

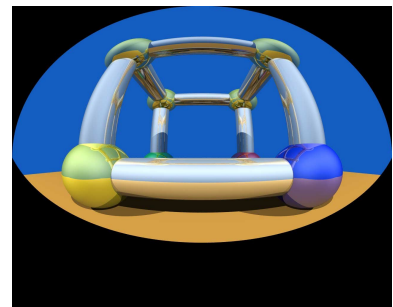
L'autre avantage des caméras virtuelles est qu'elles sont nettes de 0 à l'infini. Ensuite, on peut faire varier son champ de vision pendant une scène, ou simuler différents types de lentilles.



**Caméra projective**

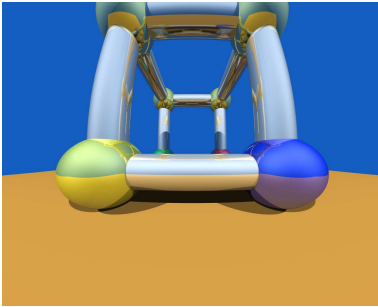


**Caméra isométrique**

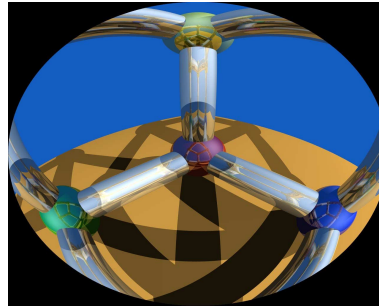


**Caméra omnimax**





Caméra "œil de poisson"



Caméra 180°

Ces caméras spéciales permettent de s'adapter aux lentilles, caméras et projecteurs existants. Par exemple, la caméra virtuelle Omnimax permet de créer des films projetables sur les projecteurs Omnimax (comme celui de la Géode ou du Futuroscope).

## Animation

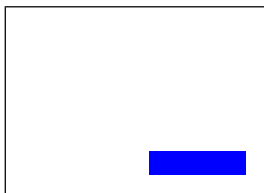
L'animation consiste à modifier différents éléments au cours du temps:

- position des objets, rotation
- déformation des objets (agrandissements, déformations)
- modification de la texture des objets (couleur, transparence, mappings...)
- déplacement et modification des lumières
- déplacement et modification des paramètres de la caméra

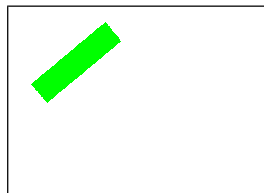
Peu importe le soin apporté à la modélisation des personnages, si ses mouvements sont mal réalisés, il ne fera pas illusion. L'animation est une étape qui nécessite autant de travail que toutes les étapes précédentes.

Il existe différentes méthodes d'animation.

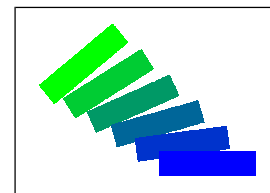
Le **Key Framing** consiste à définir la position et les caractéristiques d'un objet à des moments donnés. L'ordinateur calcul lui-même les positions intermédiaires.



Position et couleur  
à l'image n°1



Position et couleur  
à l'image n°6

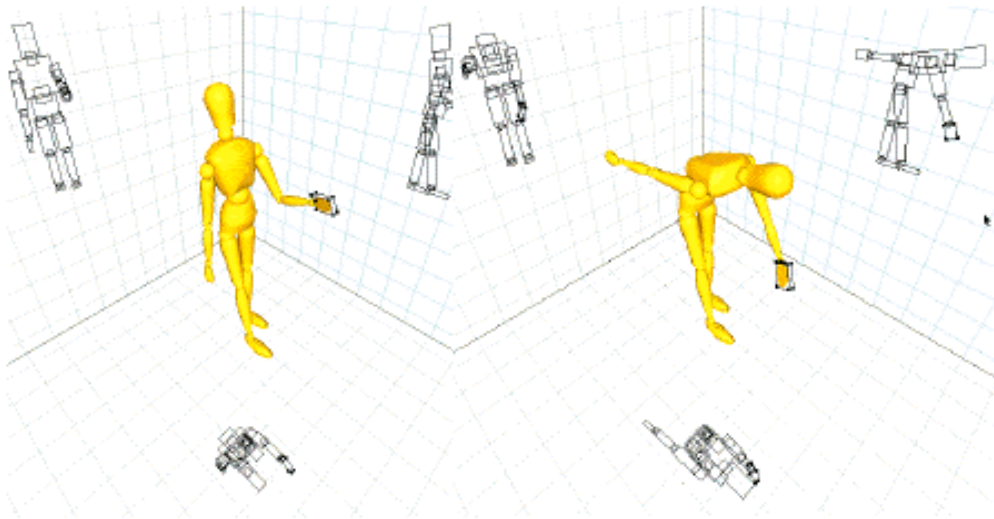


L'ordinateur calcul les  
positions et couleurs  
intermédiaires

L'infographiste définit ainsi les positions et caractéristiques des objets de la scène à différents moments, et l'ordinateur s'occupe du reste. Cette méthode a cependant des limites : il est difficile de créer des mouvements fluides (comme un homme qui marche par exemple). Il existe heureusement d'autres méthodes:

La **cinématique inverse** : elle consiste à définir des contraintes sur entre les différents objets. Par exemple, la main est attachée à l'avant-bras, l'avant-bras au bras, le bras à l'épaule, etc. On définit également les contraintes de mouvement (angle maximal et minimal entre le bras et l'avant-bras, etc.). Ces contraintes peuvent être calculée en fonction de paramètres physiologiques réels (position des muscles, tendons, etc.).

Ensuite, il suffit de déplacer la main, et l'ordinateur se charge de déplacer les autres parties en conséquence (avant-bras, bras, etc.).



En tirant sur la main, le bras se tend et le buste se plie.

Mais cette méthode montre ses limites lorsqu'il s'agit par exemple de simuler la marche d'un homme. La démarche est plus fluide qu'avec le **Key Framing**, mais elle reste raide.

La méthode la plus populaire actuellement est le **motion capture** (ou capture de mouvement). Cette méthode consiste à mesurer les mouvements d'objets physiques et de reporter ces mouvements sur des objets dans l'ordinateur.

Il existe différents appareils pour mesurer ces mouvements (capteurs ultra-son, capteurs magnétiques, fibres optiques, balles de ping-pong filmées). C'est la méthode des balles de ping-pong qui est de plus en plus utilisée car elle permet de mesurer la position de nombreux points simultanément.

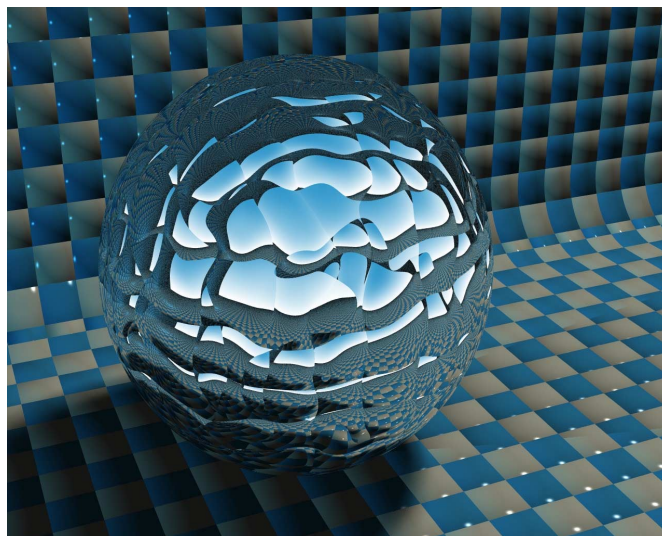


On filme les balles de ping-pong sous plusieurs angles et l'ordinateur parvient à déterminer la position dans l'espace de ces balles. On rattache ensuite la position de ces balles à des points d'un objet dans l'ordinateur. L'objet se met alors à suivre les mouvements de la personne.

La combinaison des différentes méthodes d'animation permet d'obtenir des mouvements très réussis.

## Réalisme

Tout ceci ne suffit pas à faire une scène réussie. L'image de synthèse a un inconvénient : elle est trop parfaite: caméra nette de 0 à l'infini, aucune poussière dans l'atmosphère, pas de brouillard, pas de traces. Elle paraît irréelle.



Ainsi, paradoxalement, il est nécessaire de dégrader l'image pour améliorer sa qualité.

Il existe beaucoup de méthodes:



**Effets de brouillard**



**Simulation d'effet atmosphériques et milieux liquides**



**Simulation de feu et de fumée**



**Salissures (dégradation des textures)  
et simulation de focale  
(notez le robot flou au second plan)**