

Infographie Mémento :

Le rôle de l'informatique graphique et de ses applications :

Visualisation scientifique :

- simulation de la thermodynamique des fluides.

Conception, fabrication assistée par ordinateur (CAO & FAO) :

- permet de tester les solutions choisies lors de la conception avant de construire réellement le moindre prototype.

Architecture matérielle et graphique de systèmes graphiques :

- Les composantes des systèmes graphiques.
- Dispositifs d'entrées et sorties graphique.
- Les logicielles graphiques.

2D vs 3D :

2D	3D
Non Temps réel	Temps réel
Production image par image	Production d'images instantanément.
Haute qualité	Moindre qualité
Toute simulation possible	Interactivé
- Simulation & visualisation	
- Animation par ordinateur	- Environnement, monde virtuels
- Effets spéciaux	- Réalité virtuelle
- Cad / Cam	

Concepts de base de L'image de synthèse 3D :

Représentation interne en 3D dans l'ordinateur mais affichage en 2D sur écrans.

- Dans le monde réel : 3D, infini et continu.
- Mémoire numérique : fini et non continu.
- Ecran : 2D, fini et discret.

Représentation d'une droite : phénomène d'escalier (aliasing).

- Affichage d'une droite à l'écran : algo. de Bresenham (on colorie les pixels par ou le plus long bout de la droite passe.

Le virtuel :

2 problèmes de la mémoire numérique :

- Comment représenter les composants sous forme numérique (objet, lumière, camera, propriétés des matériaux)?
- Comment obtenir une image réelle à la fin(rendu)? .

Modélisation :

Que représenter :

- Structure : forme
- Apparence : matériau
- Comportement physique

Pourquoi représenter :

- Visualisation : apparence visuelle
- Simulation : précision
- Dépend de l'utilisation

Avec Quoi :

- Modeleur (interactifs ou scripts), triangle par triangle
- Reproduction ou digitalisation (photos, scanner, vidéos)

Efficacité :

- Complexité de la manipulation
- Adéquation du modèle au phénomène à reproduire
- Complexité de l'implémentation
- Complexité de l'acquisition des données.

Complexité :

- Espace mémoire
- Temps d'affichage
- Temps de construction
- Temps de traitement (opérations, rendu, simulation).

Couleur et image numérique :

La notion de couleur a plusieurs niveaux :

- Physique
- Perception
- Reproduction
- Représentation numérique
- Interprétation

La vision humaine : plusieurs acteurs entrent en jeu dans la perception de la couleur :

- Observateur
- Nature de la lumière qui éclaire l'objet observé.
- Surface de l'objet (composition, pigment).

Luminophores photosensibles : écran est composé d'éléments phosphorescents verts, bleu, rouges.

- Un pixel est un triplet de luminophores perçu comme un point unique.
- La synthèse soustractive, les 3 couleurs primaires à saturation produit du noir.

Modèle de représentation des couleurs :

- Permet de représenter mathématiquement/ numériquement une couleur.
- Un modèle définit un espace de couleur qui est l'ensemble des couleurs que ce modèle est capable de représenter.
- L^*a^*B : Luminance, a : gamme rouge et vert, b gamme jaune et bleu.
- Espace CIE XYZ : ensemble des couleurs qu'on peut tous voir en standard
- L^*a^*b et XYZ représente les couleurs qu'un œil humain moyen pourrait voir.

- Problème : les périphériques ne sont pas capables de produire des couleurs sous la forme XYZ ou L^*a^*b . D'où les modèles RGB et CMJN.

Modèle CMJ(N) :

- Cyan, Magenta, Jaune et noir
- Théoriquement couleur soustractive ($C+M+J = \text{noir}$) mais en réalité donne du brun donc on rajoute du noir.
- Utilisé à des fins d'impression en quadrichromie (lumière absorbé ou renvoyé vers l'œil).

Modèle RGB :

- Red, Green, Blue
- Couleur additives ($R+G+B = \text{blanc}$)

Conversion :

- Il existe des règles de conversion entre systèmes de couleurs, on peut calculer les coordonnées d'une couleur dans un système donné à partir de ses coordonnées dans un système.
- Une couleur exprimé dans le système L^*a^*b correspond à un signal R1G1B1 pour un périphérique donnée et R2G2B2 pour un autre (une fois calibrés).

Calibrage :

- Le calibrage consiste à corriger un périphérique de façon à ce qu'il reproduis ou acquiert correctement les couleurs L^*a^*b .
- Il s'agit de définir comment le périphérique reproduit/ acquiert les couleurs pour compenser.
- Faire correspondre le système RGB et le système absolu L^*a^*b .

Modèle TLS (HSV) :

- Teinte, saturation, luminosité
- Teinte : on mesure la localisation de la couleur sur la roue en $^\circ$
- Saturation : pureté de la couleur (quantité de gris en proportion de la teinte) en %.
- Luminosité : c'est la clarté relative de la couleur en %.

Les images :

Image Vectorielle :

- Est définie sous forme d'un ensemble d'objets graphiques (informations géométriques, informations graphiques)
- Contient une description du dessin sous forme de primitive géométriques.
- Une image vectorielle est définie par un langage de description.

Image matricielle = bitmap.

Définition Vs Résolution :

- La définition d'une image représente la quantité de pixels qui la compose. Une définition de 640x480 contient $640 \times 480 = 307200$ pixels.
- La résolution définit un nombre de pixel par unité de surface. L'unité de base de la résolution est le dpi (dot per inch). Un inch vaut 2.54 cm.

Couleurs indexées :

- Les images en couleur indexées (colormap) : similitude avec la palette du peintre.
- Avantage : taille et modification

Format graphiques :

- Chaque format graphique détermine la façon dont les informations qui composent l'image sont structurés (en-tête, matrice de pixel).
- Les valeurs de pixel sont codées selon la profondeur de l'image.
- Les principaux formats bitmaps : TIFF, JPEG, Gif, Png, Bmp
- Principaux formats vectoriels : CGM, Wmf, EPS/DCS, SVG

Compression :

- Compresser : réduire la quantité d'information à stocker, optimise l'espace.
- Comment : éliminant des informations redondantes, ou peu utiles.
- Logique : sur des informations que représentent les bits.
- Physique : sur les bits sans tenir compte de ce qu'ils signifient.
- Lossless : image décompressée est la même qu'avant la compression. Intégrité de l'information est maintenue. → Faible taux de compression
- Lossy : perte de détail. Perte de l'intégrité de l'information → haut taux de compression.
- algorithmes de compression LZW (Lempel, Ziv et Welch) et Huffman, repérer les séquences similaires et les stocker une seule fois.

Modélisation d'objets 3D :

Repère et coordonnées :

- Se repérer dans la scène : position des objets, cameras, lumières
- Système de coordonnées : repérer un point dans une espace à dimension

Représentation des objets :

- Plusieurs niveaux de représentations d'un objet :
 - o externe/utilisateur
 - o interne
 - o affichage
- Plusieurs modes de représentations d'objets tridimensionnels, leur caractéristiques leur permettent de répondre à des contextes d'utilisation variés pour la conception, la modélisation, la visualisation, l'animation ou la simulation.

1^{ère} Classification de représentation des objets :

- Représentation surfaciques : objet représenté par sa surface limite.
- Représentation volumiques : objet représenté comme un volume.
- Représentation solides : combinaison de solides élémentaires.

2nd Classification:

- Représentation explicites : Polygones, objets de base (CSG), balayages
- Représentation par subdivision d'espace : Quadtree, Octree(irrégulières), Voxels (=volume Elements)(régulières).
- Représentation implicites : il ne peut pas être construit directement à partir de sa représentation. (Isosurfaces, blobs)
- représentation procédurales : Fractales, L-Systèmes, Systèmes de particules.

Représentation par polygones :

- Techniques la plus répandue
- Tous les objets ± peuvent être représentés par polygones
- Approximative : niveau de détail dépend du nombre de polygones
- Utilisé surtout pour la représentation interne
- toute autre représentation peut être transformé en polygones.
- Géométrie : contenue dans les sommets (x,y,z).
- Topologie : relation de voisinage entre les faces et les arêtes.
- Half-edge (demi-arête) : cette structure permet de maintenir toutes les relations topologiques entre les constituants de la surface.
- Les sommets contiennent la géométrie et les demi-arêtes la topologie.
- Normales :
 - o La normale est un vecteur de norme 1 (en un point à une surface)
 - o Ce vecteur représente la perpendiculaire au plan tangent à la surface
 - o Il est aussi utilisé pour définir le sens d'orientation du polygone ou pour déterminer l'intérieur et l'extérieur de la surface.

Calcul de la normale :

- Normale à une face : produit vectoriel de 2 côtés de la face
- Normale à un sommet : moyenne des normales de faces incidentes au sommet.

Objet de base :

- objet intuitif et simple (cube, sphère, cône, torus, tube, cylindre,...)
- Très utilisé dans la conception
- Peuvent être combinées en utilisant des opérations de base comme addition, soustraction, intersection : Constructive Solid Geometry (CSG).

Courbes et surfaces paramétriques :

- Interpolation/approximation de points de contrôle
- Des paramètres dans la formulation de la fonction d'interpolation peuvent changer l'aspect de la courbe, les paramètres peuvent être visualisés.
- Il existe un rapport intuitif entre les paramètres visualisés et le résultat.

Polynôme de Lagrange :

Il permet de construire une courbe polynomiale de degré n (=nbr de points de contrôle) qui passe par tous les points P_i .

Types des courbes paramétriques :

Les différentes familles :

- Bézier
- Hermite
- B-spline
- β -spline
- NURBS (Non Uniform rational B-spline)

Formulation mathématiques différentes :

- Propriétés mathématiques de la surface différentes.
- Paramètres de contrôle de la forme de la courbe différents.
- Avantage : peu de paramètres à définir pour contrôler la forme.

Surfaces paramétriques :

- Généralisation des courbes en ajoutant une dimension.
- Un objet est représenté par un ensemble de patches connectés les uns aux autres (avec contraintes de connexion).

Surfaces de Bézier :

- Surfaces calculées à partir d'une grille de $M \times N$ points de contrôle.
- La surface prend la forme générale du maillage des points de contrôle.
- La surface est contenue dans l'enveloppe convexe des points de contrôle.
- Les coins de la surface coïncident avec les coins du maillage des points de contrôle.
- Pour représenter une surface de Bézier bicubique (degré 3), il faut spécifier 16 points de contrôle.
- Une augmentation du nombre de points de contrôle entraîne une augmentation du degré de la surface.
- En général on utilise plusieurs surfaces de Bézier pour construire une surface de degré raisonnable.
- Inconvénients :
 - o surface contrôlée par les P_{ij} (points de contrôle).
 - o la modification d'un point de contrôle change toute la surface.
 - o La complexité du calcul augmente avec le nombre de points de contrôle.

Surfaces B-splines :

- Remède en grande partie aux défauts des surfaces de Bézier.
- Avantages :
 - o Contrôle local: la modification d'un point de contrôle ne change pas toute la courbe.

- k et l contrôlent l'ordre des B-splines, donc pour la même grille de points de contrôle, on peut obtenir une surface qui adhère plus ou moins à la grille en faisant varier k et l.
- défauts :
 - En augmentant k ou l, on augmente aussi considérablement la complexité des calculs.
 - k et l sont des entiers et empêchent toute variation continue.

Courbes de subdivision :

- La subdivision est une succession de 2 processus :
 - Division topologique
 - Moyenne locale, lissage.
- La répétition de subdivision uniformes du maillage de contrôle converge vers une surface limite.
- Classifications :
 - Selon l'opérateur de subdivision :
 - par éclatement de facette : face splitting
 - par éclatement de sommet : vertex splitting
 - Selon le type de surface produit :
 - Approximation
 - Interpolation

Surfaces de balayage :

- A partir d'une courbe, on crée une surface en balayant la courbe.
- Balayage linéaire : extrusion
- Rotationnel
- Conique

Surfaces implicites : Isosurfaces :

Une isosurface, est une forme qui est composée de tous les points de l'espace dont la valeur est inférieur à un seuil donné, pour une fonction donnée.

Primitive à squelette :

- Un squelette S est défini à partir d'une primitive géométrique simple (point carrée, trait, courbe).
- La fonction potentielle f est définie à partir de la distance $d(S,P)$ entre un point P de R^3 et le squelette S.

Composition de surface implicite

- Opérations simples sur les ensembles
 - Union: $\min(f,g)$
 - Intersection : $\max(f,g)$
 - Différence: $\max(f,-g)$
 - Complément: $(-f)$

Surface implicites bornées (BLOBS)

- Définition de la fonction f bornée.
- Au-delà d'une certaine distance (R), la fonction vaut 0.
- R est la distance d'influence de la surface.

Blobs :

- Primitive (points ou squelette)
- fonction de potentiel basés sur la distance
- Fusion des isosurfaces en fonction de leur proximité.

Visualisation des surfaces implicites :

- Le problème principal des surfaces implicites est lié au fait qu'on a une représentation indirecte de la surface.
- Cette représentation n'est pas directement visualisable.
- Il faut appliquer un traitement aux surfaces pour pouvoir les visualiser.
- Principales méthodes (Polygonalisation, Contours, Particule flottantes, Ray casting/tracing) :
 - o Polygonisation:
 - Particule de l'espace en cellules (cube ou tétraèdre)
 - Adaptation d'un polygone à la surface dans chaque cellule.
 - o Raycasting:
 - A partir d'un rayon (demi-droite)
 - + Surface implicite
 - $= f(o + td) = 0$

Surfaces implicites

- Avantages :
 - o Représentation compacte
 - o Surface continue (lisse)
- Inconvénients:
 - o Difficulté pour la visualisation

Représentation par subdivision d'espace :

- Enumeration de l'occupation d'espace
 - o L'espace 3D est divisé en petits cubes réguliers (voxels) qui sont ou occupés ou pas.

Octree :

- On divise le volume en cubes de plus en plus petits jusqu'au moment où chaque cube contient exactement un objet ou rien.
 - o Plus efficace que voxels uniformes

Transformations :

- Translation : modification de la position
- Rotation : modification de l'orientation
- Changement de l'échelle : modification de la taille
- Toutes les transformations sont exprimées avec des matrices homogènes 4*4.

Représentation hiérarchique :

- Représentation d'objet complexe sous forme d'un ensemble de sous-objets.
- Les objets sont positionnés les uns par rapport aux autres (utilisation des coordonnées relatives vs. absolue).
- Pour visualiser l'objet, on empile les transformations relatives.
- Structure de données : l'arbre.

Caméra Virtuelle :

- Détermine la prise de vue de la scène virtuelle.
- Contrôles flexibles :
 - o Mouvements
 - o Rotation
 - o Zooms

Lumière virtuelle :

- Source de lumière définie dans la scène
- Plusieurs types de sources de lumière:
 - o Lumière ambiante
 - o Lumière directionnelle
 - o Lumière ponctuelle
 - o Spot

Les matériaux :

- Les propriétés de matériaux d'un objet déterminent l'apparence de cet objet:
 - o Couleur
 - o Brillance
 - o Transparence
- Un objet est rouge parce qu'il réfléchit mieux la lumière rouge que les autres, sous lumière bleue il n'est plus rouge.
- Dans la nature les propriétés optiques des matériaux sont assez complexes
- On applique les approximations

Image, réalisme et perception :

- La surface courbe de l'œil focalise l'image sur le fond de l'œil.
- L'iris contrôle la taille de l'ouverture (pupille par laquelle la lumière entre).
- La pupille détermine la quantité de lumière.
- Les ligaments suspenseurs attachent le cristallin au muscle ciliaire
- Quand le muscle se contracte, la distance focale du cristallin diminue
- Le processus s'appelle : accommodation.
- La rétine est le détecteur photosensible de l'œil, 2 types de récepteurs :
batonnets pour les niveaux de lumière, cônes pour les couleurs.
- Au centre de la rétine, la fovea contient une grande concentration de cônes
- Les signaux vont des récepteurs au cerveau par le nerf optique.
- Les batonnets permettent la vision nocturne, les cônes la vision diurne.
- L'adaptation des cônes à des changements de condition est 43 fois plus rapide que les batonnets.

- La vision est action cognitive, pas de séparation entre la perception et pensée.
- La vision résout des problèmes: elle établit des suppositions sur la scène vue et vérifie en fixant des zones pertinentes de la scène
- L'œil scrute une scène en continue avec des temps de fixations de 200ms.
- Le "chemin" d'exploration dépend de l'image, des conditions, des buts et des intention de l'observateur.
- Phénomène d'illusion : raisonnement ne erreur si l'observation de la scène ne correspond pas aux présupposés d'une scène normales.
- 3 formes de perception à étudier:
 - Profondeur
 - Temporelle
 - Mouvement
- Perspective linéaire : plus un objet est loin plus il apparaît petit dans l'image
- Perspective atmosphérique : les objets les plus lointains apparaissent moins saturés que ceux qui sont proches.
- Déplacement parallaxe :
 - Les objets les plus proches d'un observateur en mouvement semblent se déplacer plus vite que les objets les plus éloignés.
- La projection d'onde :
 - l'utilisation de lumière qui éclaire un objet avec un certain angle permet de donner une forme et une profondeur à l'objet éclairé.
 - elle aide à la localisation de l'objet.
- Motifs :
 - Les lignes de contours créent une impression de profondeur.
 - Les éléments espacés également dans une scène se rapprochent à mesure que la distance augmente.
- Perception temporelle :
 - Le cerveau humain retient une image pendant une fraction de seconde de plus que les yeux ne la voit réellement.
 - Phénomène appliqué pour la télévision et le cinéma.

Chaîne de représentation de la réalité :

- 4 intervenants :
 - la scène
 - l'artiste
 - l'image
 - l'observateur
- Conception de l'image :
 - L'artiste perçoit la réalité au travers de son système visuel
 - il a un message et une intention
 - il retranscrit la réalité sur un médium qui lui impose des limites et des contraintes

- Observation de l'image :
 - L'observateur perçoit l'image au travers de son système visuel
 - l'image est présentée dans un environnement qui influence sa perception.

- Limites du médium :
 - image est plate
 - le point de vue est unique
 - l'image est finie
 - l'image est statique,
 - le contraste est limité
 - la palette de couleur est limitée

- Techniques de représentation : 4 systèmes :
 - Systèmes spatial, de dessin, de projection : aspect géométrique et projectifs de l'image. Traditionnellement on utilise la projection en perspective.
 - Système de dénotation : association de primitives 3D(points, lignes, surfaces et volumes) à des primitives 2D, éléments de base de l'image(points, ligne, région) Un volume pourra être représenté par sa silhouette.
 - Systèmes d'attributs : définit les couleurs et teintes à associer aux primitives de l'image, leurs propriétés visuelles.
 - Systèmes de marques: en relation avec le médium, représentation physiques des primitives avec leurs attributs.

- Réalisme : défi de l'image de synthèse
 - Photographies (ajout de lumière, filtre, maquillage, Techniques de tirages, choix du moment, reproduction des couleurs).
 - cinéma : intervention de la dimension temporelle
 - conception linéaire et continue du temps
 - montage (compression, accélération, ralentissement, éclairage artificiel, mouvements adaptés pour obtenir un style visuel)
 - peintures : pareil.

- Des images considérées comme réalistes sont en fait construites par l'enregistrement d'une configuration artificielle.
- Le rendu photoréaliste :
 - quand on arrive pas à distinguer l'image artificielle de celle prise par une caméra élaborée.
- Rendu non photoréaliste ou expressif :
 - Recent, indirectement inspirées par les arts graphiques traditionnels et qui consiste à simuler des techniques pictorales non-réalistes.

Le rendu (rendering)

- Processus de génération d'images à partir de la définition de scène virtuelle

- Très complexe
- Plusieurs techniques
- Demande beaucoup de ressources

techniques de rendu :

- Techniques de base :
 - utilisé dans presque toutes les méthodes de rendu (projection 3d vers 2d, modèle d'illumination et de réflexion).
- Modèle d'illumination et de réflexion :
 - comment la lumière se propage d'une source vers les objets, puis vers le spectateur.
 - normalement extrêmement simplifié, approximation de lumière ponctuelles.
 - modèle de réflexion : simplifié, mais une assez bonne approximation de la réalité.

Réflexion de lumière :

- Modèle simplifié :
 - A la frontière entre 2 milieux, le rayon lumineux incident est séparé en plusieurs composantes distinctes :
 - Réfléchi spéculairement
 - Transmise
 - Diffusée
 - L'énergie lumineuse reçue à la surface entre les 2 milieux est redistribuée entre ces différentes composantes.
- Modèle de réflexion de Phong :
 - Approximatif et simple, tout en donnant d'assez bons résultats.
 - Calcule l'intensité de la lumière aperçue par l'observateur sur un point de la surface, étant donnée les positions de la lumière, l'observateur, surface et son matériau.
 - dans le modèle de Phong, un point réfléchit la lumière selon 3 composantes :
 - diffuse
 - spéculaire
 - ambiante
- Composante ambiante :
 - simule l'effet d'illumination indirecte
 - approximation grossière, une valeur est définie pour tout les objets.
 - dépend du coefficient ambiant du matériel
 - elle représente une source de lumière distribuée uniformément.
- Composante diffuse :
 - propriété d'un matériel
 - réfléchit uniformément dans tous les sens, ne dépend pas du point de vue de l'observateur.
 - dépend du coefficient diffus de matériau

- dépend de l'angle d'incidence de la lumière sur la surface.
 - les matériaux diffus réfléchissent la lumière selon la loi de Lambert
 - La quantité de lumière réfléchi par une portion de surface à partir d'un rayon lumineux incident est proportionnelle au cosinus de l'angle entre la direction du rayon incident et la normale à la portion de surface.
- Composante spéculaire :
 - propriété brillante d'un matériau
 - réfléchit le plus fort dans une direction, moins autour.
 - dépend du coefficient spéculaire de matériau et de son coefficient de brillance.
 - dépend de l'angle entre la réflexion et la direction de vision.
 - Modèle de phong :
 - ce modèle est un modèle empirique qui généralise des lois (Lambert, Snell-Descartes) pour représenter tous les types de matériaux.
 - Il considère que chaque matériau est à la fois mat et réfléchissant.

Méthodes de rendu en temps réel :

- But : produire au min 10, idéalement 30 images par secondes.
- Beaucoup de simplification et approximations :
 - réflexion par traitées (trompe œil)
 - ombres rarement traitées
 - illumination indirecte pas traitée
 - utilisation d'images réelles (textures)
- Procédures de rendu (rendering pipeline) : ensemble des pas nécessaires pour arriver à l'image finale
 - Culling : élimination des surfaces superflues
 - élimination des surfaces cachées dans l'espace 3D
 - projection
 - projection parallèles : Oblique, Orthographique
 - pas de rétrécissement des objets
 - projection d'une ligne est une ligne
 - plusieurs points 3D ont la même projection
 - les lignes parallèles sont préservées.
 - Projection perspectives : points de fuite (1,2,3)
 - les objets lointains sont plus petits
 - la projection d'une ligne est une ligne
 - plusieurs points 3D ont la même projection
 - les lignes parallèles ne sont pas globalement préservées
 - les distances et les angles ne sont pas préservés.
 - Clipping : découpages des faces qui sont partiellement visibles
 - Rasterisation : conversion des faces en pixels de l'image finale
 - Elimination des surfaces cachées dans l'espace image
 - 2 familles de techniques :

- Objet tri-dimensionnel
 - algorithme du peintre
 - basé sur le principe d'une liste de priorité
 - les polygones sont triés selon leur profondeur
 - l'affichage se fait depuis le polygone qui a la plus grande profondeur vers celui qui a la plus petite
 - les polygones les plus loin de l'observateur sont revouverts au fur et à mesure de l'exécution de l'algorithme.
 - problèmes : polygones de même profondeur et intersection.
 - bsp-tree
 - propriété : tous les objets qui se trouvent du côté opposé à un plan de séparation par rapport au point de vue ne peuvent pas cacher les objets qui se trouvent du même côté que le point de vue.
 - rendu : aussi basé sur une liste de priorité
 - les objets sont affichés dans l'ordre du plus éloigné au plus proche du point de vue
 - le point de vue se fait en exécutant une descente récursive de l'arbre à partir de la racine.
- Dans l'espace bi-dimensionnel
 - algorithme de warnock
 - principe : basé sur l'idée que plus une zone de la fenêtre 2D est petite plus elle a de chance de n'être couverte que par un seul polygone.
 - méthode : subdivision récursive de l'espace image jusqu'à aboutir à un cas simple
 - la subdivision s'arrête au niveau du pixel.
 - le pixel est rempli avec la couleur du polygone recouvrant le plus proche
 - Z-buffer (mémoire de profondeur)
 - on définit 2 zones mémoires : Buffer couleur pour mémoriser la couleur de chaque pixel de l'image, Buffer profondeur, pour mémoriser la

profondeur maximale correspondant à chacun des pixels de l'image.

- chaque face est projetée et décomposée en pixels comme si elle était affichée seule
 - au cours de cette opération la profondeur z associée à chaque pixel (x,y) est aussi déterminé
 - pour chaque pixel de l'image recouvert par la face, si la profondeur z est plus grande que celle déjà présente dans le buffer profondeur aux mêmes coordonnées, la nouvelle profondeur et couleur est remplacé.
 - A-Buffer : accumulation buffer, les données pour chaque face incluent, RGB, Z, le pourcentage de couverture de l'aire, permet de gérer anti-aliasing et transparence.
- peinture (shading)
 - déterminer la couleur de chaque pixel de l'image
 - appliquer le modèle de lumière sur chaque point prend beaucoup de temps
 - approximations : la lumière est seulement calculé sur quelques points clés de chaque face et le reste est interpolé.
 - Méthodes de peintures des surfaces:
 - flat shading
 - calcul pour seulement 1 point par face, même couleur appliquée sur toute la face
 - gouraud shading
 - calcul sur les sommets de chaque face, interpolation de la couleur au milieu
 - Phong shading
 - calcul de la normale aux sommets de chaque face
 - interpolation de la normale de surface à l'intérieur
 - calcul pour chaque point de face.
 - Utilisation des textures (mapping)
 - simulation des ombres

Transparence, ombre et texture

La transparence :

- Un objet opaque devant un autre le masque
- Informatique graphique : algorithme d'élimination des surfaces cachées.
- Pourtant, la lumière peut traverser certains matériaux
- Ces matériaux sont dits transparents et on ne doit plus caché les objets situés derrière
- Il faut représenter différemment ces objets vus à travers un corps transparent
- Une technique évoluée : tenir compte des lois de Snell-descartes.

Technique de transparence simple :

- La plus simple peut s'expliquer par exemple : si on regarde une boîte rouge à travers une vitre verte
- La couleur de la boîte sera un mélange de rouge et de vert, la proportion de rouge et de vert est dépendante du coefficient de transmission (transparence) de la vitre.
 - o Si la vitre était complètement opaque, on aurait que du vert
 - o Si la vitre est complètement transparente, la boîte serait vraiment rouge
 - o Entre les 2 tous les extrêmes sont possibles.
- Outre les composants ambiant, diffus et spéculaire qui définisse un matériau, on associe encore une valeur supplémentaire (t) qui définit le degré de transparence d'un objet.

Transparence et objets courbes :

- Simple combinaison linéaire : donne des résultat acceptable avec des objets non-courbes et ultra-minces.
- Pour une sphère, il faut tenir compte de la courbure : la transparence est plus grande en direction du centre qu'aux bords
- Facteur de transparence dépendant de la courbure de l'objet.

Simulation des ombres :

- Fonction des ombres :
 - o ancrer l'objet (sinon l'air de flotter)
 - o renforcer l'effet de lumière

Ombre et pénombre :

- Ombre : ombre complète
- Pénombre : ombre partielle autour de l'ombre

Ombre portée :

- Ombre portée nécessaire sauf si:
 - o Source unique de lumière à l'emplacement de l'observateur
 - o Seulement lumière ambiante
- 4 catégories de techniques de production d'ombres portées:

- Basées sur la projection de l'objet sur le plan
- Basées sur le coupage de polygone
- Basées sur les volumes d'ombres
- Basées sur le Z-Buffer
- Basées sur le lancer de rayon

Algorithme d'ombrage :

- Principe : déterminer quelles surfaces sont visibles depuis la source de lumière
- Les surfaces qui ne sont pas vues depuis la lumière sont dans l'ombre
- Intégration des ombres dans le modèle d'illumination

Simulation de l'ombre :

- Pas de calcul d'ombrage
- Approximation de la position et de la forme de l'ombre par une forme 2D qui est ancrée à l'objet
- Avantages : simple et rapide
- Inconvénients : sol plat, seulement ombrage sur le sol, imprécis, limitation en cas de rotation

Projection de polygone :

- Se ramène à une projection en perspective sur le plan du sol
- Précis
- Limité à l'ombrage au sol

La technique des volumes d'ombres :

- Introduite par Crow (1977)
- Volume d'ombres :
 - Région de l'espace où un objet intercepte la lumière
 - Théoriquement illimité
 - Réduit normalement à son intersection avec le volume de vue.
- Les polygones bordant le volume d'ombre sont additionnés à la liste des polygones formant l'objet
- Pendant le processus d'affichage, les polygones d'ombre sont considérés comme invisibles et lorsqu'ils sont traversés, ceci produit une transition
- En inspectant les transitions, on peut générer les bonnes ombres portées.

Algorithme basé sur le coupage de polygone dans l'espace objet :

- On place temporairement l'observateur à chacune des sources de lumière pour trouver les descriptions d'ombre.
- En utilisant un algorithme de surfaces cachées, les polygones éclairés sont détectés. Ces polygones sont ceux qui ne sont pas dans l'ombre et ils sont déterminés en considérant les surfaces cachées à partir de la source de lumière.
- Les polygones éclairés sont ajoutés aux polygones originaux.

Shadow buffer :

- Une vue de la scène est construite depuis le point de vue de la source de lumière.
 - o Les valeurs z sont calculées et stockées dans un z-buffer d'ombre séparé, les valeurs de la couleur sont ignorées.
- Une vue de la scène est construite depuis le point de vue de la caméra.
 - o La profondeur en chaque pixel est comparée avec celle dans le z-buffer de l'observateur.
 - o Si la surface est visible, une transformation linéaire est utilisée pour faire correspondre les points $\langle x, y, z \rangle$ dans le système de l'observateur en coordonnées $\langle x', y', z' \rangle$ dans le système de la source de lumière.
- La valeur Z' est comparée avec la valeur $Z \langle x', y' \rangle$ dans le z-buffer d'ombre.
- 2 cas sont alors possibles :
 - o Le point n'est pas visible de la source de lumière, donc il est dans l'ombre
 - o Le point est visible de la source de lumière. Il est rendu selon le modèle de lumière en $\langle x, y \rangle$.

Texture Mapping :

Quête de réalisme visuel : utiliser une photo comme texture

Créer des modèles géométriques complexes et détaillés est compliqué

Difficulté et complexité, temps et erreurs, une texture est moins chère.

Diminution des coûts de calculs : transformations simples

Implémentation hardware : de nombreuses cartes graphiques supportent l'accélération du texture mapping.

- Variation de la couleur à l'intérieur d'un polygone 3D lors de la rasterisation à partir de valeurs obtenues à partir d'une texture.
- Les valeurs de texture peuvent être utilisées pour moduler ou perturber n'importe quel paramètre intervenant dans le modèle local d'illumination
- La couleur peut être obtenue de façon différente, à partir d'une image (texture bitmap) ou à partir d'une fonction (texture procédurale)

Paramétrisation :

- Associer les coordonnées de la texture à celle de l'objet.
 - o Directe pour une surface ayant une définition paramétrique.
 - o À déterminer de façon inverse pour une surface polygonale.
- Principe :
 - o Spécifier des coordonnées de textures pour chaque sommet 3D
 - Texture tiling
 - Distorsion d'image
 - o Rasterisation dans l'espace image 2D

Surfaces paramétriques :

- NURBS, patch
 - o possède déjà des coordonnées u, v

Polygones (Inverse Mapping)

- La géométrie n'est définie qu'aux sommets.
- Une interpolation linéaire introduit une distorsion.
- Amélioration : Projection en perspective

Utilisation d'une surface intermédiaire (S&O Mapping) :

- Définit 4 types de surfaces intermédiaires :
 - o Plan
 - o Cylindre
 - o Sphère
 - o Cubique
- Unifie Texture mapping et Environnement Mapping

Aliasing :

- La pré-image d'un pixel est un quadrilatère curviligne dont la forme et la surface varie d'un pixel à l'autre.

Filtrage : Le filtrage consiste à calculer la valeur moyenne de la pré-image du pixel, pour gagner du temps de calcul au moment du rendu.

Mip-Mapping :

- Décomposition de la texture en niveau de détails.
- Approximation de la forme de la pré-image par un carré
- Ce carré est ensuite apposé sur le wireframe.

Cube mapping :

- + construction facile des textures (à partir de photos ou par rendus de la scène)
- + moins de distorsion
 - calcul plus lent.

Bump mapping : permet de donner du relief à une texture.

Displacement mapping :

- La texture est considérée comme un champ hauteur appliqué à la surface
- L'implémentation se fait à partir de subdivision récursive de la surface

Illumination / light maps :

- Permet de reproduire les effets de lumière dans les jeux vidéos sans calculs d'illumination.
- La texture utilisée est :
 - o de base résolution
 - o reproduite des intensités et pas des couleurs
- La texture peut être :
 - o peinte interactivement
 - o produite par illumination global de la scène

Texture procédurales :

- Utilisées pour représenter l'aspect visuel d'objets composés de matériaux naturels.
- La texture 2D est produite par une procédure/fonction qui associe une couleur à 2 coordonnées.
- Pour les textures naturelles on utilise des fonctions fractales ou de bruit (perturbations)
- Difficulté à déterminer une fonction qui reproduise l'effet voulu.

Textures 3D :

- Comme pour les textures 2D on retrouve 2 classes:
 - o texture volumiques : association d'une image 3D (voxelmap) à un objet 3D par détermination de coordonnées de textures.
 - o textures procédurales: calcul d'une couleur à partir d'une fonction dépendante de x,y et z.

Illumination Globale Raytracing et Radiosité

Illumination globale :

- Les modèles d'illumination locaux (Phong) ne prennent en compte que l'interaction directe de la lumière avec l'objet.
- Pour obtenir un rendu réaliste, il faut tenir compte de toutes les interactions lumineuses entre chaque objet et son environnement : lumière et autres objets.
- C'est ce que les modèles d'illumination globaux essaient d'obtenir.
- Il existe 2 grandes familles de rendu global, basées chacune sur une représentation physique de lumière:
 - o La lancer de rayon ou raytracing (particule)
 - o La radiosité (onde)
- On parle de rendu photoréaliste.

Interaction lumineuses :

- Spéculaire (résulte un rayon)
- Diffuse (multiple rayon)
- Translucide (transparence)

Le lancer de rayons :

- Principe :
 - o Ancienne technique basée sur la simulation numérique d'optique géométrique.
 - o Intuitivement, méthode dans laquelle rayons lumineux seraient tracés de la source de lumière, suivant leur chemin jusqu'à l'observateur.
 - o Mais: approche catastrophique et même impossible car seuls quelques rayons arrivent à l'observateur.
 - o Donc on renverse direction de propagation des rayons, en traçant les rayons à partir des objets.
- Revient à :
 - o Tirer des rayons à partir de l'observateur pour chaque pixel de l'image

- Calculer les intersections de ces rayons avec les objets de la scène
- Obtenir les informations photométriques nécessaires pour colorier le pixel courant.
- A chaque surface touchée par un rayon, de nouveaux rayons peuvent être engendrés
- Un rayon pour l'ombre est ainsi tiré à partir du point d'intersection vers chaque sources de lumières pour déterminer si la source éclaire directement l'objet.
- Si oui, la contribution à l'intensité du rayon est calculé en se basant sur les propriétés de réflexion diffus et spéculaire à l'intensité de la source.
- Des rayons réfléchis et transmis peuvent être aussi engendrés.
- Pour ces nouveaux rayons, il faut appliquer récursivement le même processus pour déterminer les intersections de ces rayons avec d'autres surfaces.
- Pour chaque pixel, un arbre d'intersection doit être construit.
- Le processus récursif s'arrête dans les cas suivants :
 - Quand un rayon quitte la scène
 - Quand un rayon heurte une surface ni spéculaire, ni transparente
 - Quand la contribution du rayon devient négligables
 - Quand on atteint une profondeur limite de la récursivité.
- Lorsque l'arbre est crée, il est traversé en appliquant une équation à chaque nœud pour calculer l'intensité.
- Avec le processus récursif, l'intensité pour le nœud courant est obtenue quand tous les sous-nœuds ont été évaluée.
- L'équatin appliqué à chaque nœud pour calculer l'intensité est différente de celle de Phong.
- On utilise généralement celle de Whitted, ou celle de Hall et Greenberg .
- Whitted : basé sur les lois de la réflexion et la réfraction (loi de Snell-Descartes).

Modèle de Whitted :

- L'illumination est données par l'équation ou la lumière ambiante et la lumière diffuse sont calculé comme dans la formule de Phong.
- Les directions des rayons sont obtenus à partir des équations de la réflexion et de la réfraction ou on considère l'angle d'incidence.
- L'algorithme du lancer de rayons est extrêmement puissant et premet de traiter pratiquement tous les aspects du réalisme.
- Les calculs d'intersection sont très couteux en temps cpu vu le nombre de rayons lancés.
- Il faut donc trouver des méthodes d'optimaisation:
 - Augmenter la vitesse de traitement des ces intersections
 - Trouver des moyens de tester plus rapidemetn les intersections
 - Diminuer le nombre de rayons lancés ou utiliser des rayons plus complexes que les droites

Techniques d'anti-aliasing :

- <http://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/aliasing/alias2a.htm>
- Super Sampling : plusieurs rayons sont envoyés par pixel de l'image (revient à subdiviser chaque pixel en sous pixel et à faire passer un rayon par chaque sous pixel).
- Stochastic Sampling : plusieurs rayons sont envoyés par pixel de l'image de façon irrégulières, les trajectoires des rayons sont légèrement perturbées par du bruit.
- Adaptive Super Sampling : le nombre et la régularité des rayons supplémentaires sont contrôlés et adaptés en fonction de la situation de chaque pixel.

Distributed ray-tracing :

- http://www.cs.wpi.edu/~matt/courses/cs563/talks/dist_ray/dist.html
- Simple et puissant, rendu des ombres, réflexion, et réfraction lumière.
- Cette méthode consiste à envoyer plusieurs rayons dans des directions variables pour chaque échantillon.
- La contribution totale est obtenue en pondérant l'ensemble des contributions correspondantes.
- Pour l'aliasing : stochastic sampling
- Pour l'ombrage : pénombre (source lumineuse surfacique)
- Pour la réflexion : matériau non parfaitement réfléchissant.
- Pour la transmission: matériau non parfaitement transparent.
- Permet l'envoi de plusieurs rayons pour chaque échantillon
- Rayon multiple pour chaque pixel → donne flou de mouvement
- Donne une impression de profondeur grâce aux multiples cheminements des rayons de la caméra système.

Radiosité :

- Le lancer de rayon se base sur une représentation particulière de la lumière en simulant le trajet des rayons lumineux. La radiosité se base sur une représentation de la lumière comme flux lumineux d'énergie.
- Historiquement les algorithmes de radiosité sont nés de l'adaptation à la lumière d'un modèle mis en place par des physiciens pour matérialiser les transferts de chaleur.
- Le principe général de la radiosité consiste à simuler les échanges énergétiques induits par les ondes lumineuses dont la longueur d'onde détermine la couleur.

Pourquoi la radiosité :

- La plupart des surfaces sont diffuses, alors que le raytracing ne reproduit pas correctement la façon dont la lumière se réfléchit sur ce type de surface
- Dans la version raytracée, l'image ne reproduit que la lumière qui atteint l'œil de l'observateur par réflexion directe.
- Dans la version calculée par radiosité, la réflexion de la lumière due aux surfaces diffuses est correctement reproduite.

Principe :

- Dans un environnement clos règne un état d'équilibre d'énergies lumineuse : à tout instant une quantité quasiment constante d'énergie lumineuse est émise par chaque source principale de la scène et atteint les différents objets de la scène qui se comportent alors comme des sources secondaires en réémettant une fraction de l'énergie reçue.
- En état d'équilibre stationnaire, l'énergie émise et reçue par chaque surface élémentaire d'un objet est constatée.
- L'idée originale : calculer les énergies émises à l'équilibre par chaque surface élémentaire de la scène.
- Une fois toutes les énergies calculées, il est possible de positionner la caméra n'importe où dans la scène et de calculer la fraction d'énergie qui arrive jusqu'à elle.

Algorithme général :

- La scène 3d est subdivisée en patches
- Les facteurs de forme sont calculés pour tous les couples de patches
- l'équation de la radiativité est résolue pour l'ensemble des patches
- On obtient une valeur d'intensité lumineuse pour chaque patch
- Ces valeurs sont interpolées à l'intérieur des patches.
-