



COURS RÉALITÉ VIRTUELLE

Dr. Amel OURAHMOUNE

CONTENU DU MODULE

Chapitre 1. La réalité virtuelle : Présentation et Besoins

Chapitre 2. Représentation des modèles géométriques

Chapitre 3. Techniques d'interaction

- Détection de collision

- Réponse à la collision : visuelle, sonore, Haptique, olfactive, gustative

Chapitre 4. Périphériques de la Réalité virtuelle

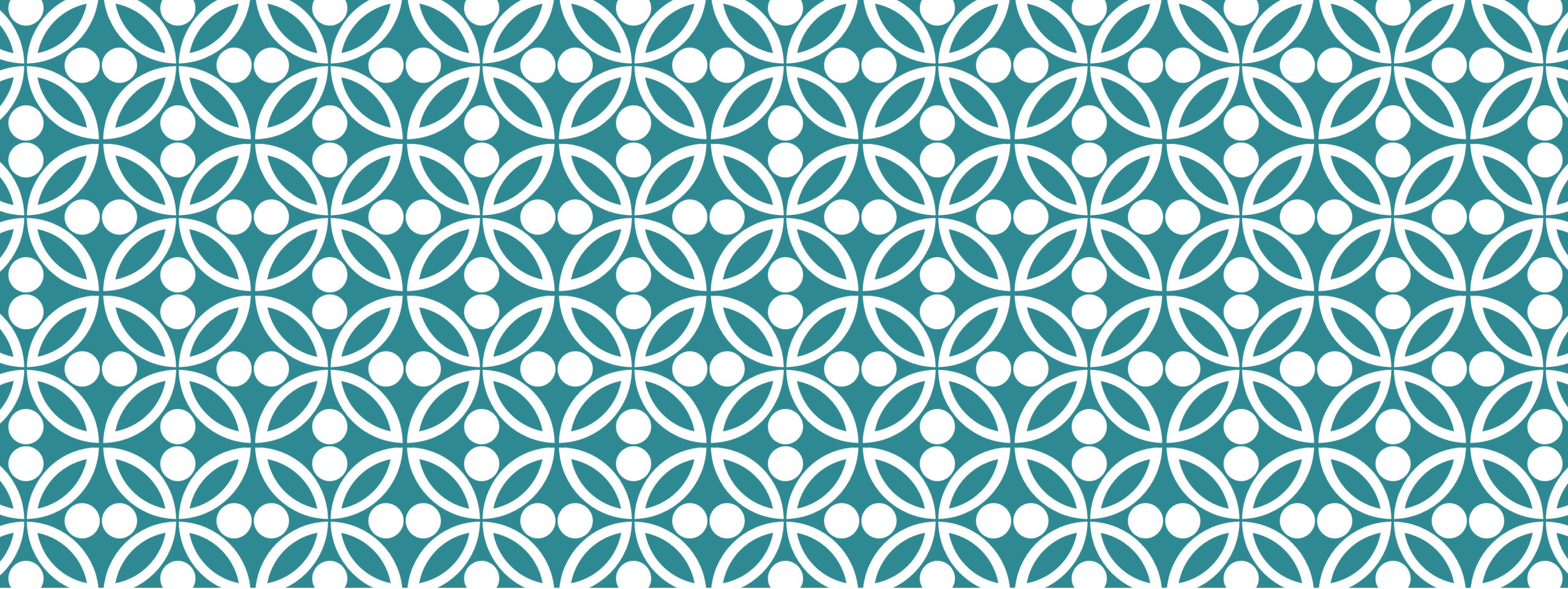
Chapitre 5. Affichage de la Réalité virtuelle

- La restitution visuelle stéréoscopique

Chapitre 6. Réalité virtuelle distribuée, la réalité virtuelle mobile

Chapitre 7. Systèmes de suivi pour de la Réalité virtuelle

Chapitre 8. La Réalité Augmentée



BIBLIOGRAPHIE

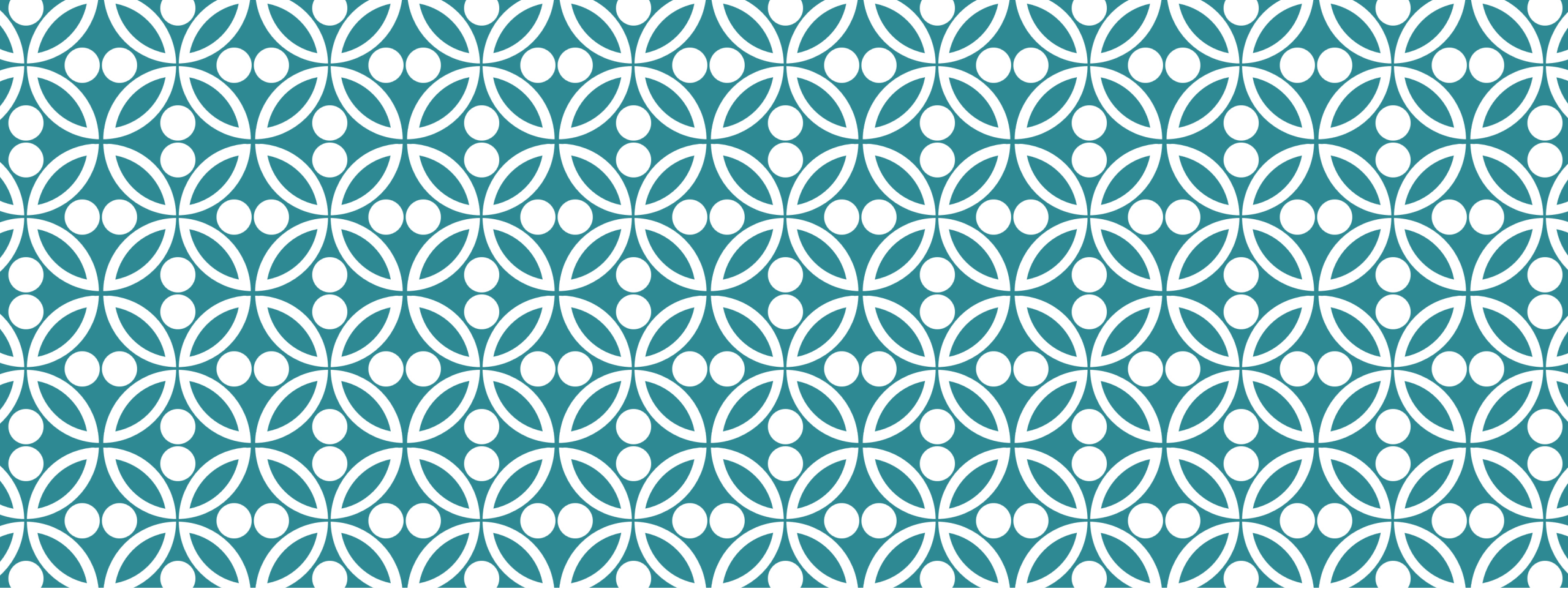
Le traité de la réalité virtuelle : Tome 2, Philippe FUCHS, Guillaume MOREAU Coordination : Jean-Marie Burkhardt, Sabine Coquillart 2006

Lanier, J. (1988). A Vintage Virtual Reality Interview. <http://www.well.com/user/jaron/vrint.html>

M. Moore and J. Wilhelms. Collision detection and response for computer animation. Computer Graphics, 22(4), August 1988.

Lucie Masson. Suivi temps-réel d'objets 3D pour la réalité augmentée. Computer Vision and Pattern Recognition. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2005. French.

La conception de jeux video educatifs: Une methodologie de recherche/creation, [René St-Pierre](#), Universite du Quebec a Montreal (Canada), 2006 - 268 pages



CHAPITRE 1

Présentation et besoins de la
réalité virtuelle

DÉFINITIONS

Un environnement virtuel est un system de simulation qui permet à un ou à plusieurs utilisateurs d'accomplir certaines taches en ayant l'impression d'être dans un cadre spécifique représenté par un lieu virtuel.

L'environnement virtuel est représenté par un model 3D de données réelles ou imaginaires qu'on peut visualiser et avec lesquelles on peut interagir en temps réel.

DÉFINITIONS

Initialement, le terme *environnement virtuel* (Anglais : *virtual environment*) fut introduit par l'équipe de recherche du MIT au début des années 90 comme synonyme de *réalité virtuelle*.

Le terme *réalité virtuelle* quant à lui fut présenté en 1986 par JARON LANIER au conscient collectif. Il l'a défini en 1988 comme une réalité synthétique partageable à l'aide de technologie informatique qui implique une immersion sensorielle.

APPLICATIONS

1. Formation des praticiens : utilisation de simulateurs anatomique et chirurgicaux pour l'apprentissage et l'entraînement du geste.

Apprentissage de sutures en chirurgie vasculaire.

Ponction lombaire.

Entraînement pour opérations chirurgicales du genou.

Entraînement pour prise de Sang et piqures.

Apprentissage du geste de diagnostique par palpation du genou.

Echographie pour la détection de thrombose.

APPLICATIONS

2. Mise en place d'un environnement virtuel pédagogique pour l'apprentissage.

Mécanique du system de direction des voitures.

Manipulation d'une turbine à gaz pour la propulsion du navire.

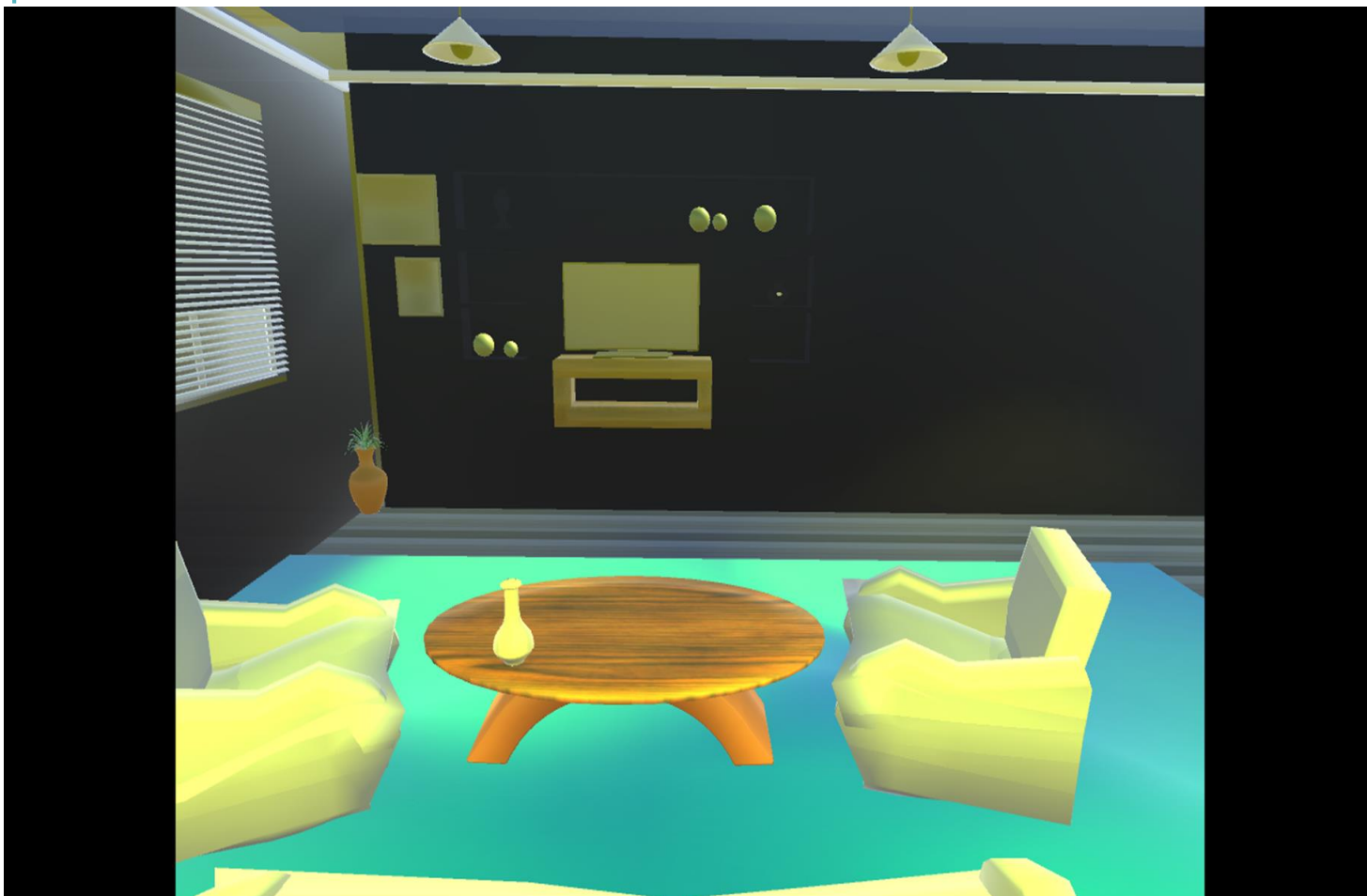
3. Application en psychothérapie pour vaincre les phobies ou pour l'aide à la réinsertion des malades dans le monde réel.

4. Télé présence, utilisation de système robotisé maitre/esclave pour chirurgie à distance ou bien pour la télé échographie.

APPLICATIONS



APPLICATIONS



APPLICATIONS

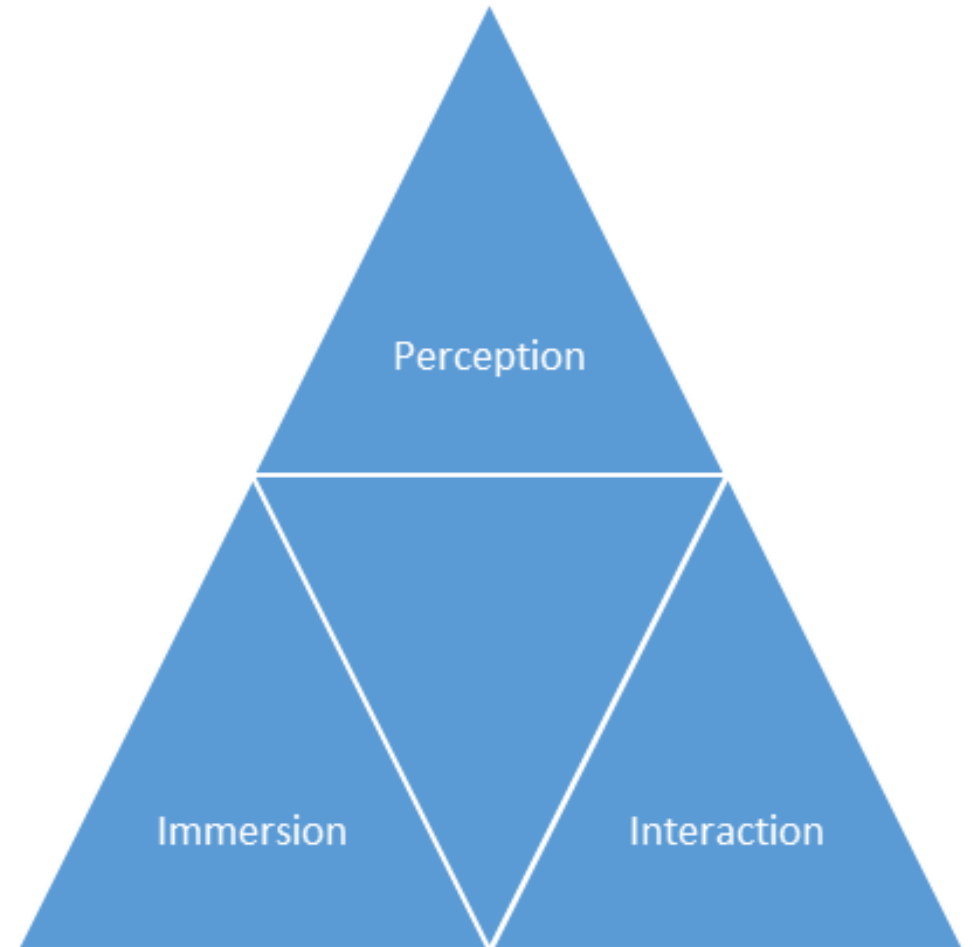


LES CONCEPTS DE BASE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE

L'immersion est définie par la sensation d'être ou d'habiter dans l'espace virtuel.

L'interaction qualifie la possibilité de se déplacer dans l'espace virtuel et de manipuler les objets en ayant

une *perception* immédiate des actions pour un rendu en temps réel.



LES CONCEPTS DE BASE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Suivant les besoins de l'application, le niveau d'immersion, d'interaction et de perception est ajusté

Niveau sensori-moteur

- la perception passe par la médiation des sens
- la médiation de l'action et s'assurer de la réactivité du modèle à l'aide de manipulations adaptées.

Exp. Le manipulateur de vol.

Niveau cognitif

- la perception passe par la médiation de l'esprit.
- modifier le modèle, ces derniers disposent d'une expressivité équivalente au modélisateur.

Exp. les applications de reconfiguration partielle d'un système opérationnel, de prototypage interactif, ou de modélisation en ligne.

LES CONCEPTS DE BASE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Modélisation et génération d'objets

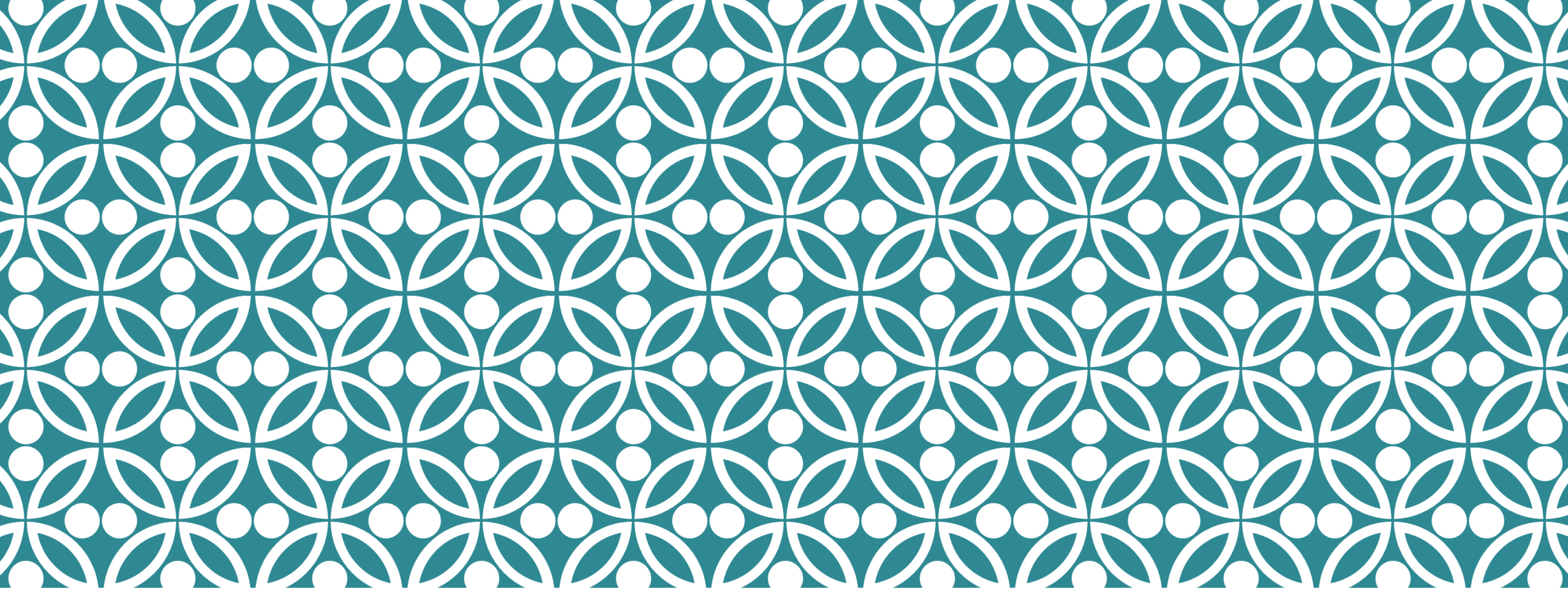
Consiste en la modélisation géométrique des objets pour la construction de l'image 3D suivie par l'habillage avec les couleurs et des textures à plusieurs niveaux de détails.

Génération du son

Améliore l'immersion de l'utilisateur et augmente le réalisme de l'application.

Génération du toucher et du retour d'effort

C'est un facteur important pour une bonne immersion dans le cas où l'environnement virtuel à modéliser requiert un retour d'effort à travers une interface haptique.



CHAPITRE 2

Représentation des modèles
géométriques

GESTION D'UNE SCÈNE VIRTUELLE

- La scène virtuelle est une collection d'objets virtuels de modèles et de comportement qui varies selon la nature de l'application virtuelle.
- La conception de la scène virtuelle implique la conception de ses objets et de gérer l'interaction entre eux on définissant le type de retour vers l'utilisateur souhaité.

MODÉLISATION DE LA SCÈNE VIRTUELLE

La modélisation de la scène virtuelle comprend la définition des objets habitants la scène virtuelle leurs nombre et le type de cinématique.

Modélisation de la forme des objets virtuels

- Différentes façons pour concevoir les objets
- Différentes types de modélisation 3D
 - On veut pouvoir
 - Manipuler les objets
 - Combiner des objets \Rightarrow objet complexe
 - Déformer les objets

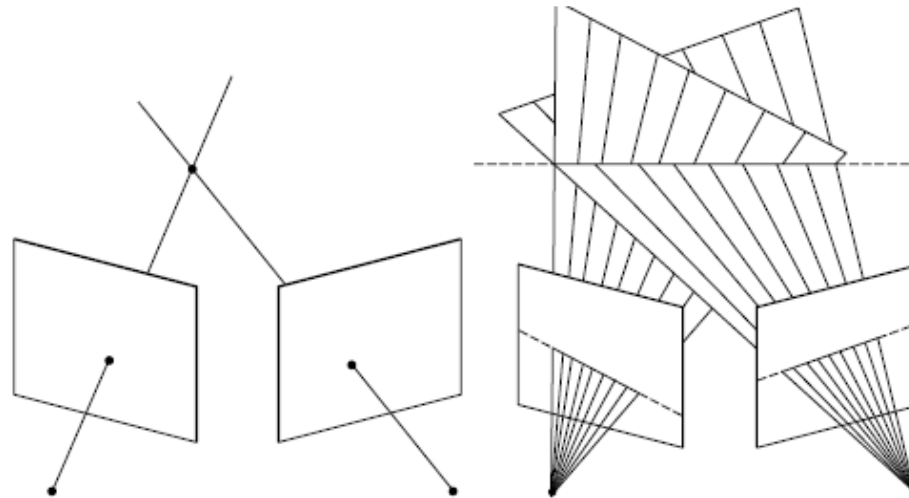
Contrainte : temps réel et occupation mémoire

CRÉATION D'UN OBJET VIRTUEL

- **Reconstruction 3D**

- A partir d'un objet réel, à partir d'images

Plusieurs représentations en 2D d'un objet peuvent déterminer les coordonnées des éléments visibles sur ces représentations dans un repère de l'espace réel 3D.



CRÉATION D'UN OBJET VIRTUEL

- **Modélisation procédurale par des règles, algorithme**

Cas où la création d'un modèle 3D avec logiciels 3D génériques est trop lourde (en temps et en coût de production)

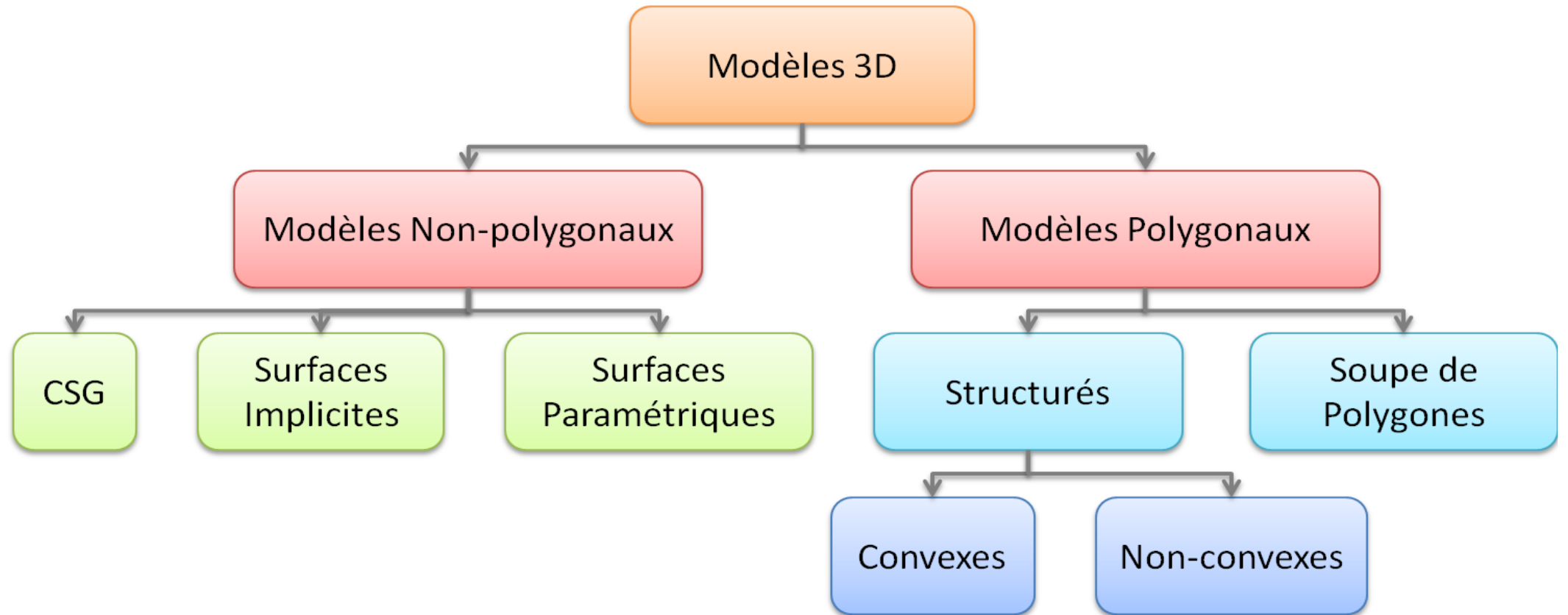
- la génération d'un objet (plante)
- la génération d'une scène complexe (paysage)

- **Modélisation interactive**

Offrir du pouvoir d'expression à l'infographiste

Fichier de géométrie, outils dédiés (Maya, 3ds Max, Blender)

MODÉLISATION D'OBJET



LES MODÈLES NON POLYGONAUX

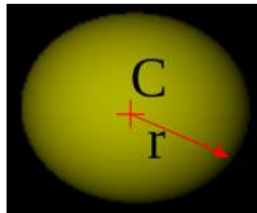
1. CSG (Constructive Solid Geometry)

le modèle est construit à base de primitives géométriques (sphère, cube, cylindre ...) combinées par des fonctions mathématiques.

Sphères :

– centre C

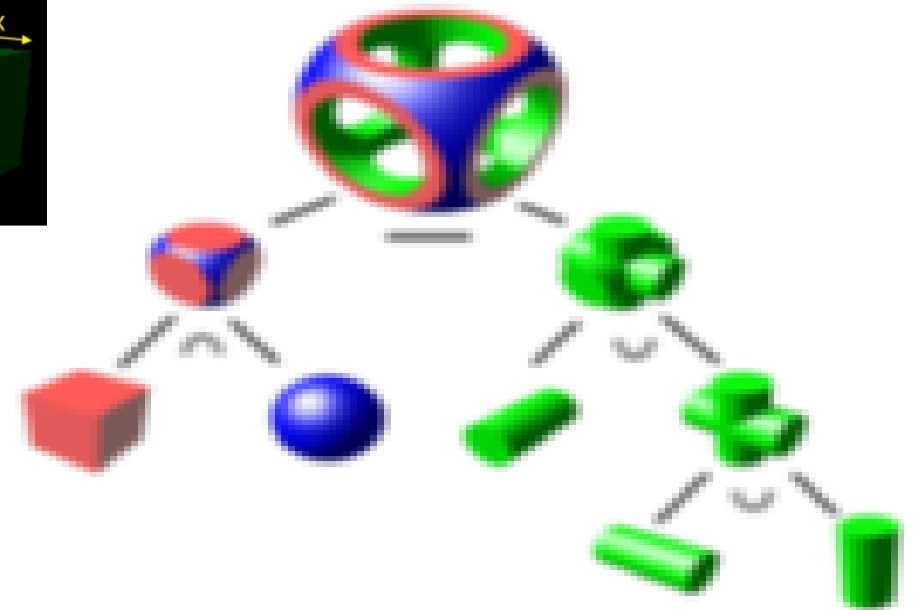
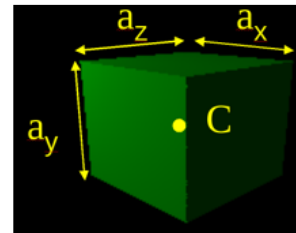
– rayon r



Cube:

– centre C

– arêtes a_x, a_y, a_z



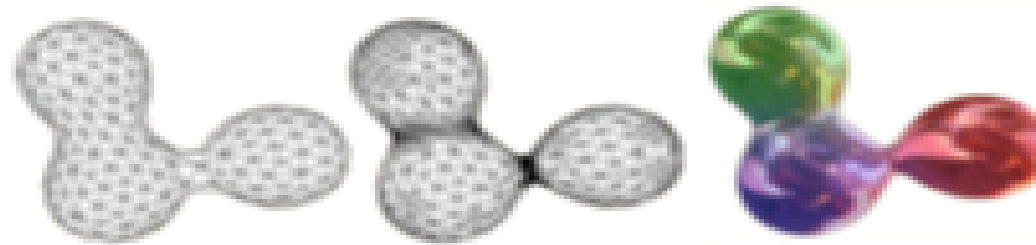
LES MODÈLES NON POLYGONAUX

Définition d'un objet à l'aide de surfaces, Pas de notion de matière

2. Les surfaces implicites sont définies à l'aide de fonctions implicites

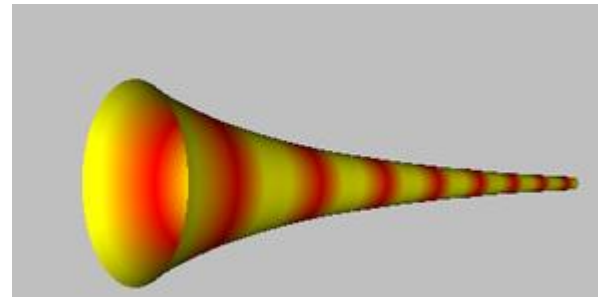
$$R^3 \rightarrow R$$

telque $F(x, y, z) = 0$.



Exp. La trompette de Gabriel

$$(x^2 + y^2)z^2 - a^4 = 0$$

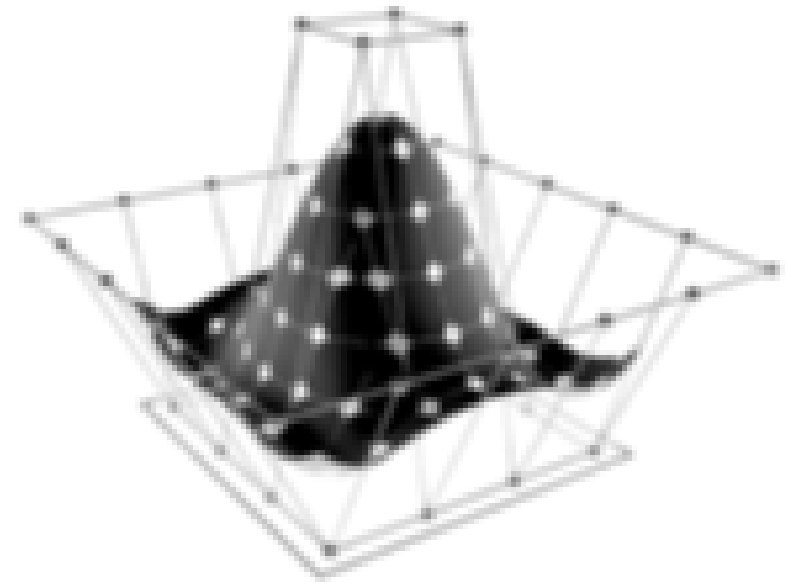


LES MODÈLES NON POLYGONAUX

3. **Les surfaces paramétriques** représentent une description des frontières des surfaces seulement. Définit une entité par des paramètres qui peuvent être modifiés facilement.

Les paramètres peuvent être de plusieurs types :

- intrinsèques (longueurs, angles),
- cartésiens (coordonnées par rapport à un repère),
- situationnels (distance, angle entre 2 éléments)



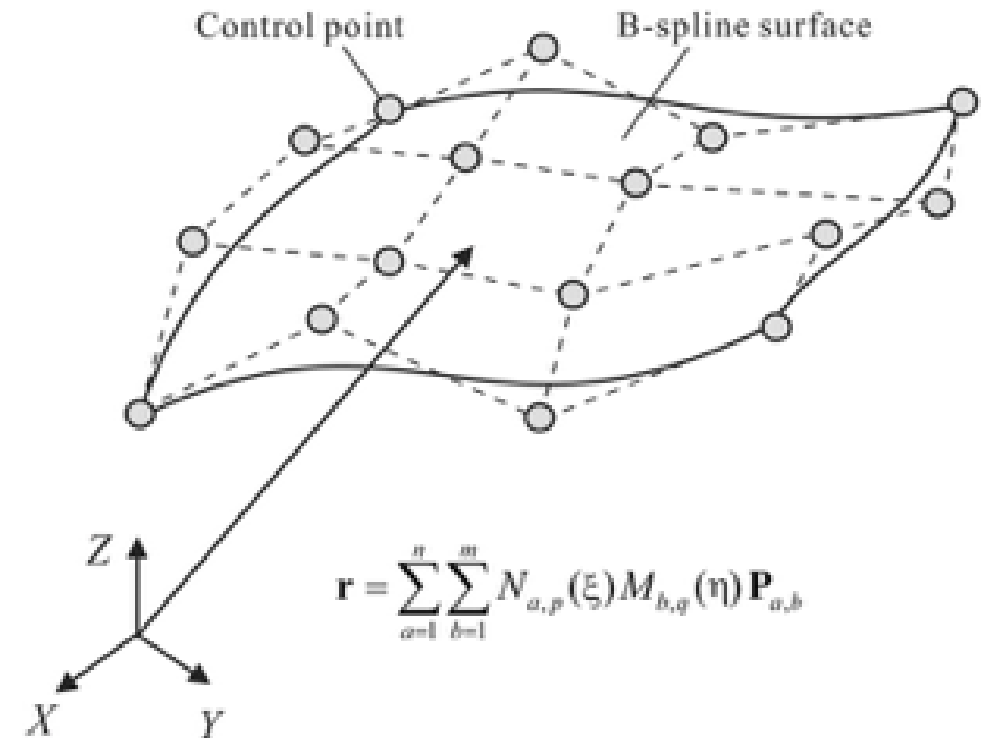
LES MODÈLES NON POLYGONAUX

Définition à partir de points de contrôles

– Contrôle local

(pas de polynôme de haut degré)

B spline (Bezier), Nurbs



LES MODÈLES POLYGONAUX

- Les modèles *polygonaux* ont une représentation à base de polygones,
- c'est la représentation la plus utilisée principalement grâce à sa simplicité mathématique.
- Ils peuvent être
 1. non structurés en nuage de point ou soupe de polygones ne possèdent aucune information topologique, Issues de systèmes de capture Scanner 3D, Kinect. Sont difficilement manipulable
 2. structurés qu'ils soient convexes ou non-convexes,

NUAGE DE POINTS

Reconstruction 3D :

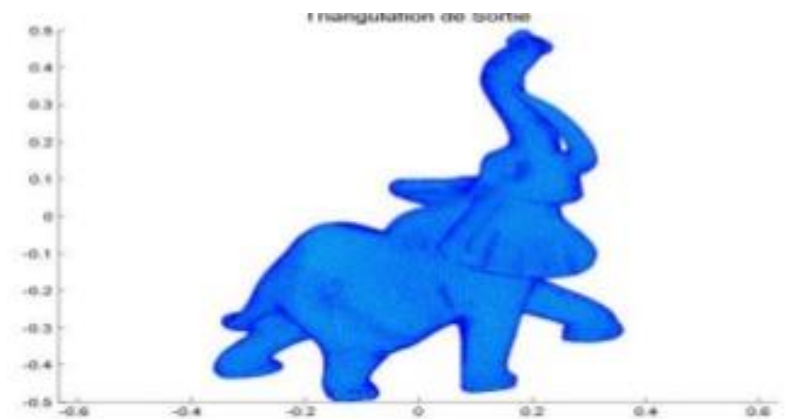
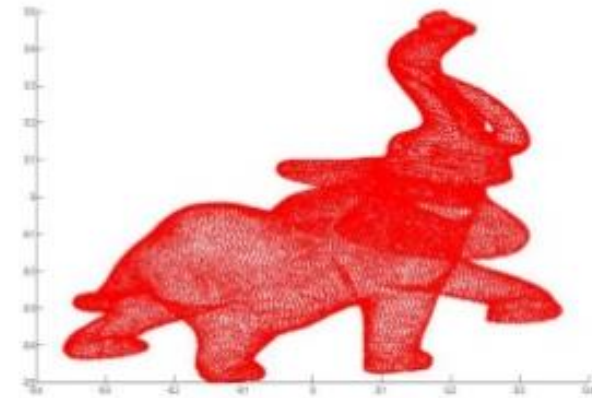
– Polygonaliser:

trouver le bord, trouver l'intérieur et l'extérieur,
connectivité,...

- Grace à :

Marching cube,

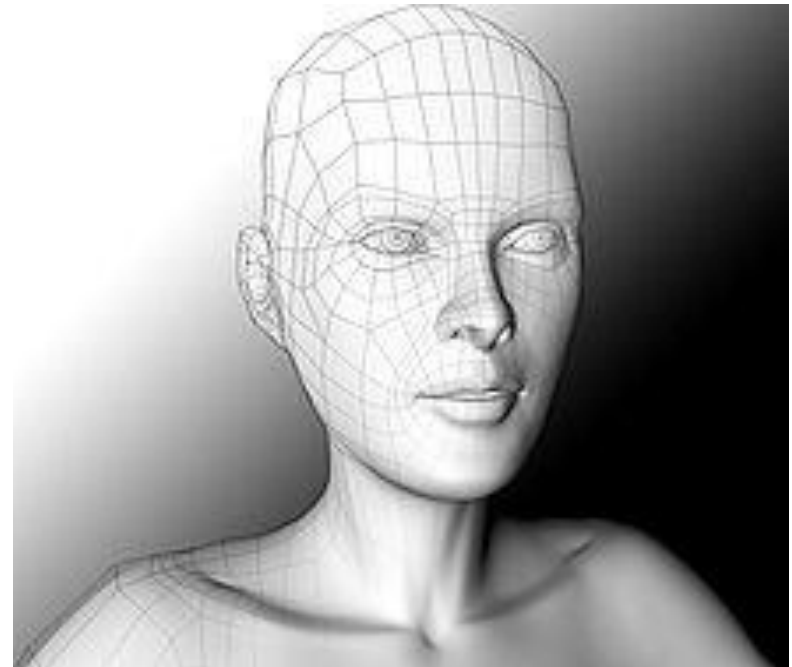
Triangulation de Delaunay



STRUCTURÉ

les modèles non-convexe peuvent être représentés en une décomposition d'objets convexes.

Il est à noter que la plus part des modèles non polygonaux sont convertibles en modèles polygonaux.



GESTION D'UNE SCÈNE VIRTUELLE

Nature des objets : rigide, déformable ou fluide.

Les objets déformables sont plus coûteux en temps de calcul que les objets rigides ceci est dû à la constante mise à jour de leur forme.

Le nombre d'objets en mouvement détermine la méthode de gestion des mouvements.

2-body : cas où la scène virtuelle comprend un seul objet en mouvement, le contact n'est possible qu'entre l'objet en mouvement et le reste de la scène.

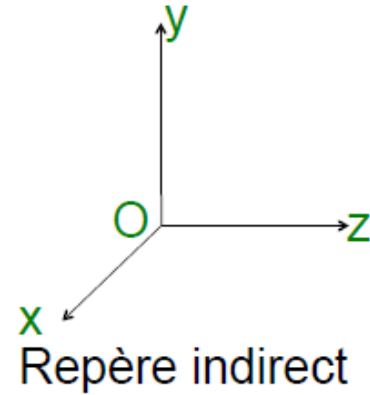
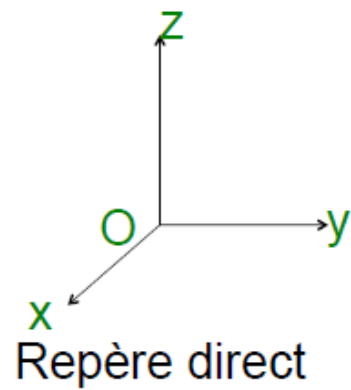
n-body : plusieurs objets en mouvement

GESTION D'UNE SCÈNE VIRTUELLE

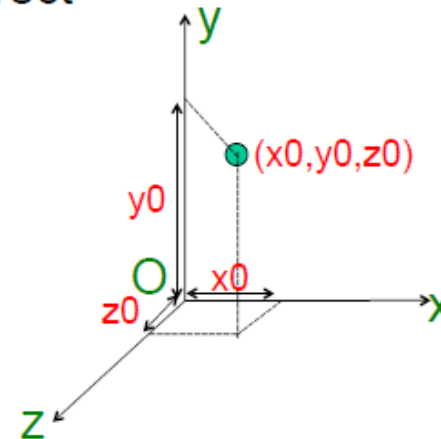
Placer et orienter les objets virtuels dans l'EV :

- Souvent, par défaut, les objets sont :
 - placés au centre de la scène
 - orientés selon le repère global
- Il faut pouvoir les situer et les orienter correctement
 - Réutilisation d'objets par duplication, en réalisant plusieurs instances :
- Positionner et/ou orienter ces instances d'un même modèle géométrique évite de superposer

GESTION D'UNE SCÈNE VIRTUELLE



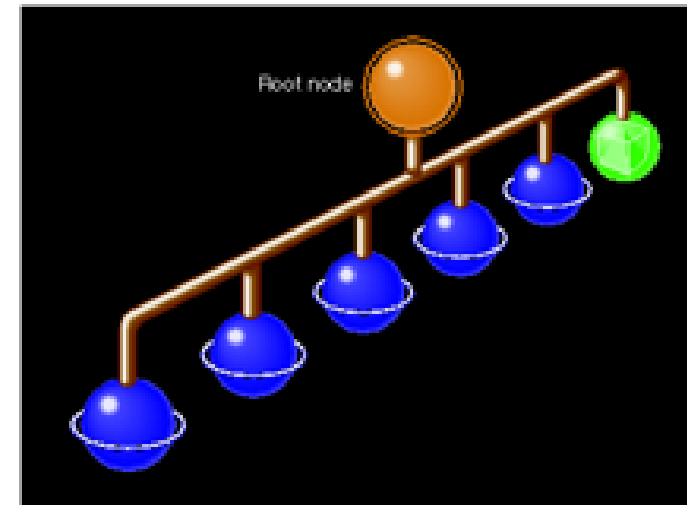
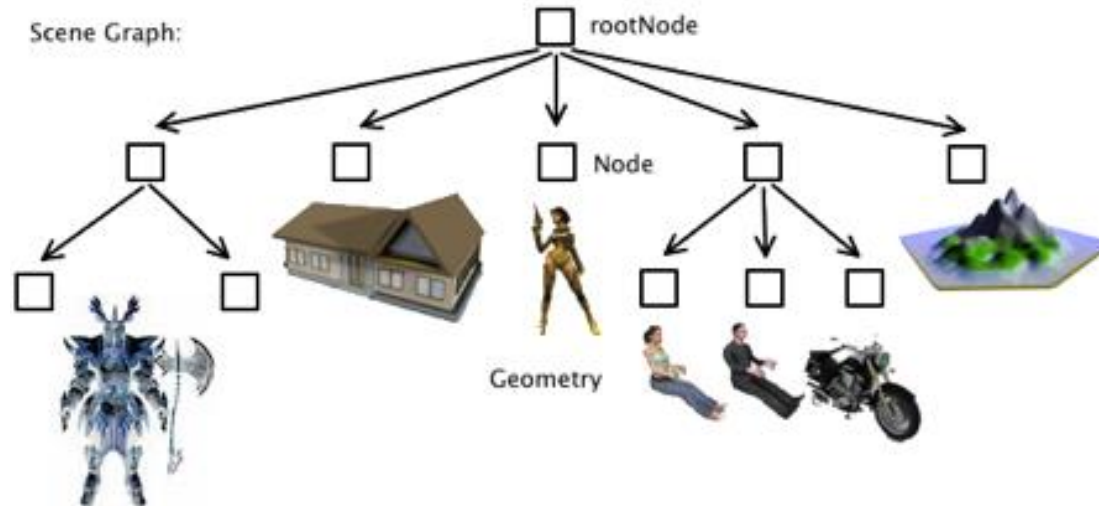
Repère de OpenGL:
direct avec Y vers le haut (Yup)



ORGANISATION DES OBJETS VIRTUELS

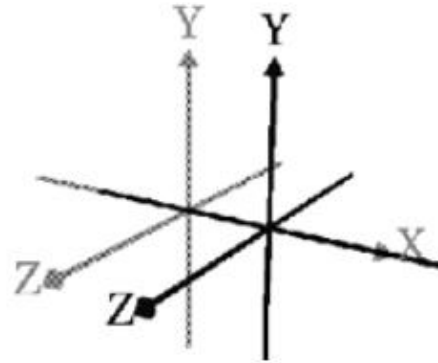
Graphe de scène

- Structure de données stockant les objets virtuels
- Transformations d'un objet sont répercutées à ses fils
- Différentes organisation en fonction du besoins

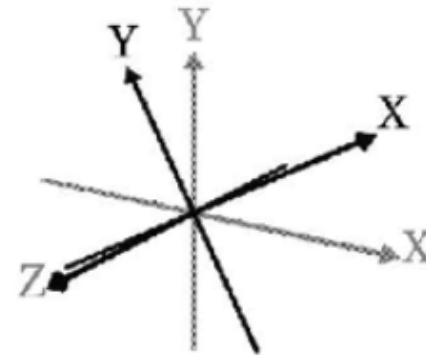


TRANSFORMATION GÉOMÉTRIQUE

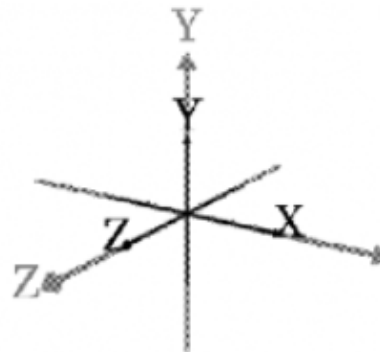
Translation



Rotation



Mise à l'échelle



ROTATION

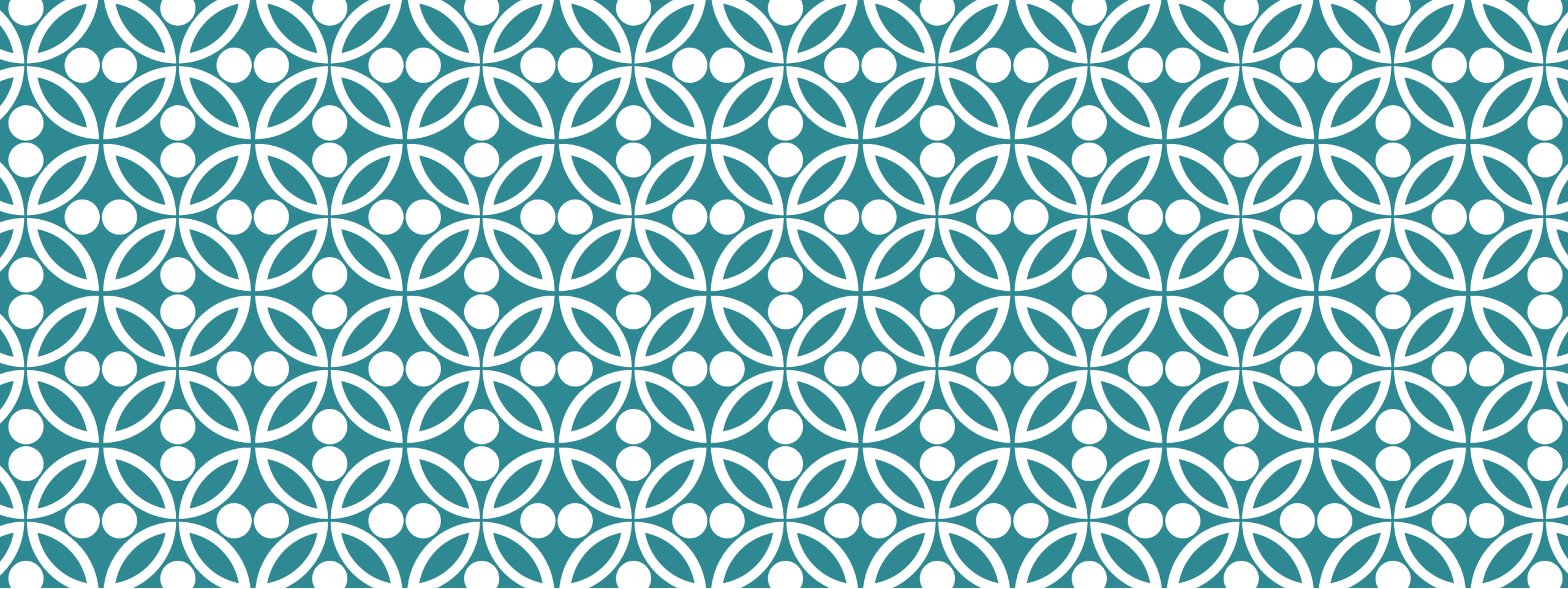
Angle d'Euler

- Rotations successives autour des 3 axes de base
- Définie par les 3 angles Y, P, et R
 - Y : yaw (lacet) autour de l'axe vertical
 - P : pitch (tangage) autour du nouvel axe latéral
 - R : roll (roulis) autour du nouvel axe normal

ROTATION

Vecteur rotation

- axe de rotation (x, y, z)
- angle de rotation (w)
- Quaternion
 - Expression dans une espace à 4 dimensions de l'espace des rotations (w, x, y, z)
 - Avantages
 - Plus facile à composer, plus stable, plus efficace
 - Inconvénients
 - Pas intuitif à se représenter



CHAPITRE 3

Techniques d'interaction

TECHNIQUE D'INTERACTION

Une technique d'interaction désigne la méthode qui permet d'effectuer une tâche d'interaction dans un environnement virtuel (Hachet, 2003).

(Foley *et al.*, 1996) considèrent celle-ci comme la manière d'utiliser un périphérique pour accomplir une tâche sur un ordinateur.

le scénario qui utilise l'interface motrice d'une application donnée pour traduire les mouvements de l'utilisateur en actions dans le monde virtuel.

Les différentes techniques d'interaction se situent entre la couche « matériels » (bas niveau) et la couche « applications » (haut niveau).

LE PARADIGME D'INTERACTION

En RV, la notion de paradigme d'interaction est utilisée par certains auteurs pour désigner un ensemble de règles et de techniques permettant à l'utilisateur d'accomplir des tâches d'interaction au sein d'un environnement virtuel.

LA MÉTAPHORE D'INTERACTION

La métaphore d'interaction signifie qu'un outil virtuel est la métaphore, la transposition, d'un objet ou d'un concept réel (Sternberger, 2006).

Une métaphore d'interaction regroupe un ensemble de techniques d'interaction qui utilisent le même outil virtuel ou le même concept pour interagir avec les objets de l'espace virtuel.

CLASSIFICATION DES TECHNIQUES D'INTERACTION 3D

l'interaction en RV comme la traduction des actions des utilisateurs dans le monde réel en des tâches spécifiques dans l'espace virtuel.

se **déplacer** pour découvrir un lieu inconnu ou pour aller dans un endroit bien précis, **toucher, prendre** ou **manipuler** des objets.

(Mine, 1995b) propose la première classification basée sur quatre tâches fondamentales : la **navigation**, la **sélection**, la **manipulation** et la **mise à l'échelle**. ainsi que le **contrôle** d'application : menus virtuels et l'interaction par widgets.

CLASSIFICATION DES TECHNIQUES D'INTERACTION 3D

(Coquillart *et al.*, 2003) proposent une autre classification des techniques d'interaction. Ces derniers décomposent chaque application en des tâches élémentaires, appelées primitives comportementales virtuelles (PCV).

Quelle que soit l'application, les PCV peuvent être regroupées en quatre catégories :

- observer le monde virtuel,
- se déplacer dans le monde virtuel,
- agir sur le monde virtuel et
- communiquer avec autrui ou avec l'application pour son contrôle

CLASSIFICATION DES TECHNIQUES D'INTERACTION 3D

1. *La navigation*

Comme dans le monde réel, l'utilisateur a besoin de se déplacer dans la scène virtuelle pour réaliser certaines tâches.

L'action « se déplacer » va

- de bouger sa tête pour observer un objet de plus près ou d'un autre angle,
- à se promener dans un parc ou visiter un musée,
- voire se déplacer d'une planète à une autre.

La navigation

désigne l'ensemble des méthodes qui permettent de connaître la position d'un objet par rapport à un système de référence, ou par rapport à un point fixe déterminé.

LA NAVIGATION

- Le déplacement représente la composante motrice de la navigation. Il se rapporte aux déplacements physiques de l'utilisateur d'un endroit à un autre.
- La recherche d'itinéraire correspond à la composante cognitive de la navigation. Elle permet aux utilisateurs de se repérer dans l'environnement et de choisir une trajectoire pour se déplacer (Fuchs et al., 2003). Dans ce cas, l'utilisateur se pose des questions : "où suis-je ?", "où doit-je aller ?", "comment arriver à cet endroit ?".

LA NAVIGATION

(Bowman *et al.*, 1997) définissent les facteurs à prendre en considération dans la conception de toute technique de navigation :

- La vitesse de déplacement (le temps d'achèvement d'une tâche de navigation) ;
- La précision d'exécution ;
- La conscience spatiale (connaissance de l'utilisateur de sa position et de son orientation dans l'environnement virtuel pendant et après la navigation) ;
- La facilité d'apprentissage (la capacité d'un utilisateur débutant à s'approprier la technique de navigation) ;
- La facilité d'utilisation ;
- La capacité de l'utilisateur à collecter des informations sur l'environnement pendant le déplacement;
- La présence virtuelle (le sentiment de l'utilisateur d'être immergé dans l'environnement virtuel) ;
- Le confort de l'utilisateur.

PÉRIPHÉRIQUES DE MARCHÉ



Représentation graphique du CyberSphere
(University of Warwick)



Marche sur place suspendue
(Templeman's Gaiter system, NRL)



Navigation par cyclisme
(Hodgins, Georgia Tech)



Tapis unidirectionnel
(Sarcos)

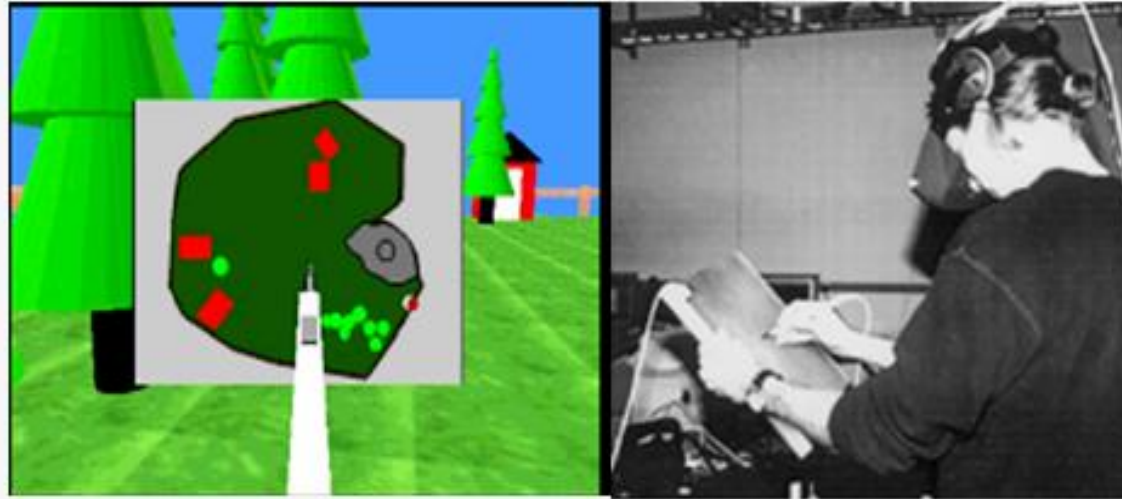


Tapis multidirectionnel
(Sarcos)

EXEMPLE DE TECHNIQUES DE NAVIGATION



a) Les gants de pincement permettant le déplacement à l'aide des doigts



b) Vues virtuelle (à gauche) et réelle (à droite) de la technique navigation a la carte (Bowman et al, 1998)

LA DIRECTION DU MOUVEMENT

l'utilisation d'un joystick pour avancer et reculer dans l'environnement virtuel: la métaphore de la soucoupe volante (Butterworth *et al.*, 1992).

la direction est donnée par l'orientation de la tête (Mine, 1995) : déplacer le point de vue de l'environnement virtuel dans la direction du regard de l'utilisateur qui est déterminée par les mouvements de la tête.

- Problème : Regarder les coins

La direction du mouvement est déterminée par l'orientation de la main de l'utilisateur. (Robinett *et al.*, 1992) (Bowman, 1999): permet à l'utilisateur de se déplacer et regarder dans différentes directions.

- Problème : difficile à apprendre

Utilise gestes de la main pour indiquer la direction du déplacement: la métaphore du « tiré sur une corde » (Mapes *et al.*, 1995)

LA DIRECTION DU MOUVEMENT

Détermine la direction du déplacement à l'aide de la direction du torse de l'utilisateur. (Bowman, 1999)

L'utilisateur est représenté par une icône dans une carte 2D. Le déplacement de l'icône par un stylet jusqu'au nouvel endroit de la carte implique le déplacement de l'utilisateur (Darken *et al.*, 1993).

LA VITESSE DE DÉPLACEMENT

le déplacement se caractérise par une vitesse instantanée qui peut être calculée de plusieurs manières différentes,

La vitesse est calculée en fonction de l'écartement entre les deux mains : plus la distance est grande, plus le déplacement est rapide. (Mine *et al.*, 1997)

La vitesse est calculée en fonction de la vitesse de la montée ou de la descente des genoux (inspiré de la marche réel) (Yan *et al.*, 2004)

les résultats sont meilleurs lorsque la métaphore utilisée pour la navigation est proche de la marche réelle, car la marche donne une meilleure sensation de présence et d'immersion (Usoh *et al.*, 1999)

DÉPLACEMENT DU POINT DE VUE

World-In-Miniature « WIM »: l'utilisateur dispose d'une maquette virtuelle (une représentation miniature du monde virtuel) qu'il tient dans sa main. Le mouvement de l'utilisateur dans le monde virtuel suit celui de son avatar miniature dans le monde miniature (Stoackley et al., 1995)

Les wordlets sont des représentations miniatures de plusieurs parties de l'environnement virtuel. Permet de représenter qu'une partie du monde virtuel en miniature afin de permettre à l'utilisateur de trouver facilement son chemin. (Elvins et al., 1998)

LA NAVIGATION

Selon que l'on connaît ou non sa destination, la navigation peut être libre ou assistée.

Dans le cas d'une **navigation libre**, l'utilisateur ne connaît pas précisément sa destination. Il se déplace dans l'espace dans le but de découvrir et d'explorer l'univers virtuel.

Dans le cas d'une **navigation assistée**, l'utilisateur avance dans l'espace virtuel pour aller à un endroit bien précis qui représente la cible du déplacement.

LA NAVIGATION LIBRE

Le trajet se dessine au fur et à mesure de l'avancée dans l'environnement.

l'utilisateur doit disposer des moyens qui lui permettent de démarrer et d'arrêter le processus de navigation, de modifier la vitesse et la direction du déplacement

(Bowman *et al.*, 2005) classent les différentes techniques de navigation

selon les trois tâches de base du déplacement

- le choix de la direction ou la cible,
- le choix de la vitesse/accélération du mouvement
- le choix des conditions d'entrée.

LA NAVIGATION LIBRE

Inspirée de l'interaction de l'être humain avec son environnement réel (Ware *et al.*, 1990) une des premières métaphores de navigation basée sur la marche réelle, a la particularité d'être simple et naturelle. L'utilisateur se déplace librement à l'intérieur d'un cyberspace en marchant physiquement selon les contraintes de place et en tournant sa tête pour changer sa direction.

LA NAVIGATION ASSISTÉE

Lorsque l'utilisateur connaît sa cible, c'est-à-dire la destination de son déplacement, il est possible de l'assister afin de le décharger de certaines tâches pendant le processus de navigation.

sélectionner la destination sur la maquette du monde virtuel (Stoackley *et al.*, 1995)

dessiner le chemin souhaité à l'aide d'un stylo sur une plaque en Plexiglas (Igarashi *et al.*, 1998)

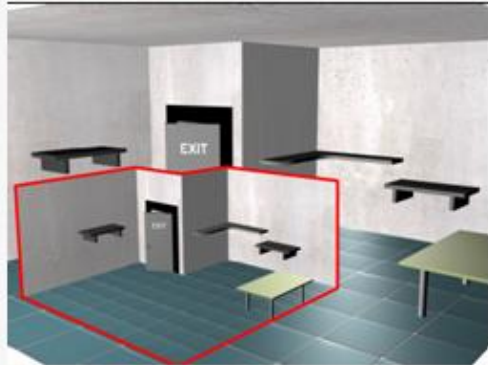
un rayon virtuel déformable pour dessiner librement le chemin à suivre pendant la navigation. Le but de cette interaction à deux mains est d'éviter les obstacles qui se dressent devant l'utilisateur et de modifier finement la direction et la vitesse courante. Le chemin parcouru est représenté par une courbe 3D.

LA NAVIGATION ASSISTÉE

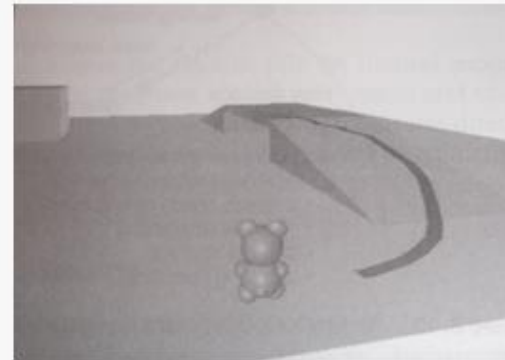
« téléportation » qui déplace l'utilisateur d'une manière instantanée. -Inconvénient : désoriente l'utilisateur car elle ne donne pas d'information sur la distance parcourue pendant le trajet.

-Solution: faire parcourir virtuellement le chemin à l'utilisateur : faire voler l'utilisateur jusqu'à la destination).(Butterworth et al., 1992)

EXEMPLE DE TECHNIQUES DE NAVIGATION ASSISTÉE.



a) Vue du monde miniature superposé au monde virtuel
(Stoackley et al., 1995)



b) Le système « Dessin de chemin »
(Igarashi et al., 1998)

2. LA SÉLECTION

L'action « sélectionner un objet »,

pour pouvoir manipuler un objet, l'être humain a toujours besoin de le prendre dans sa main ou de le désigner parmi d'autres objets.

Le processus de sélection en RV s'inspire souvent de la sélection dans le monde réel

la désignation d'un objet ou d'un ensemble d'objets afin d'accomplir un objectif donné au sein de l'environnement virtuel,

La validation : presser un bouton, utiliser un geste ou encore utiliser une commande vocale, automatique si le système d'interaction prend en considération les intentions des utilisateurs.

3. LA MANIPULATION

l'utilisateur est un acteur capable de changer les propriétés de l'environnement virtuel.

définie comme un processus complexe qui consiste à modifier les propriétés d'un objet ou d'un ensemble d'objets appartenant à l'univers virtuel. Ces propriétés sont, par exemple, la position, l'orientation, la couleur, l'échelle et la texture.

La manipulation directe : l'utilisateur agit directement sur l'objet appartenant à l'environnement virtuel.

La manipulation indirecte, quant à elle, est celle pour laquelle l'utilisateur agit sur les composantes du monde virtuel par l'intermédiaire d'entités graphiques (boutons, menus 3D) ou matérielles.

CLASSIFICATION DES TECHNIQUES D'INTERACTION POUR LA SÉLECTION ET LA MANIPULATION

Il existe 2 classifications:

- la classification par décomposition en tâche
- la classification par métaphore,

pour une tâche de sélection, la technique d'interaction utilisée doit mettre à la disposition de l'utilisateur les moyens pour désigner un objet à sélectionner et confirmer la sélection ; elle peut aussi fournir un retour visuel, haptique ou sonore pendant l'exécution de la tâche de sélection.

CLASSIFICATION PAR DÉCOMPOSITION EN TÂCHE

Les techniques de sélection et de manipulation se composent de plusieurs blocs (appelés *building block* en anglais) (Bowman *et al.*, 2005).

Chaque bloc se charge d'exécuter une action élémentaire pendant le processus d'interaction

Une action élémentaire peut être assurée par plusieurs composants différents qui appartiennent au même bloc.

CLASSIFICATION PAR MÉTAPHORE

- les techniques *exocentriques*

pour lesquelles le monde virtuel est contrôlé depuis l'extérieur

- les techniques *égocentriques*

pour lesquelles l'utilisateur agit directement depuis l'intérieur de l'environnement virtuel. Cette dernière catégorie est composée de deux sous-familles :

Les techniques basées sur la métaphore de la *main virtuelle*

les techniques basées sur la métaphore du *pointeur virtuel*.

LES TECHNIQUES EGOCENTRIQUES

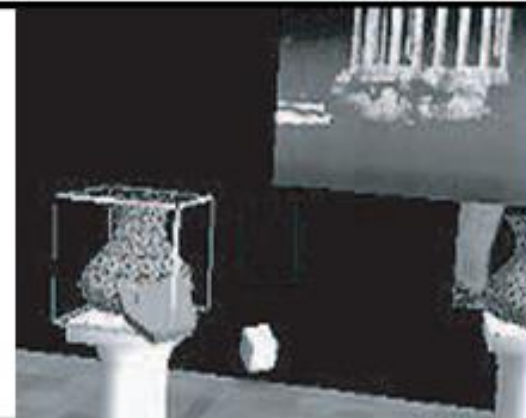
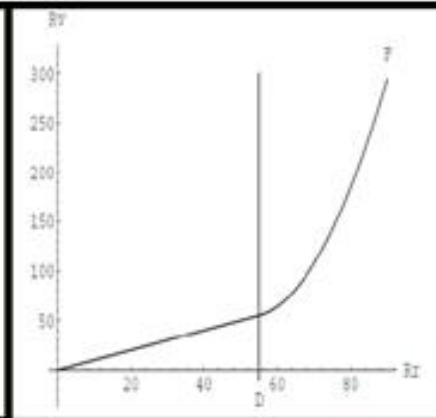
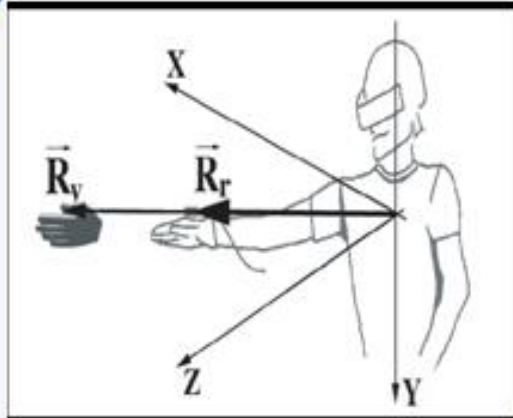
Préhension: l'utilisateur peut utiliser sa propre main pour sélectionner un objet virtuel (Sturman et al., 1989)

puis valide la sélection, soit en fermant le poignet, soit en restant en contact avec l'objet un certain temps,

- technique est très simple, naturelle et intuitive
- pose le problème de la sélection des objets distants

Go-Go: technique d'extension du bras.

- Basée sur la métaphore de la main virtuelle
- La position de la main virtuelle est calculée par une fonction non-linéaire, de sorte à ce que la main virtuelle aille plus loin que la main réelle après avoir atteint une certaine distance « seuil D ». L'utilisateur dispose ainsi d'un bras virtuel plus long que son bras réel, lui permettant d'atteindre des objets distants.



- a) La distance virtuelle (R_v) est calculée en fonction de la distance réelle (R_r) :

$$R_v = \begin{cases} R_r & \text{si } R_r < D \\ R_r + k(R_r - D)(R_r - D) & \text{sinon} \end{cases}$$

- La main virtuelle représente la position virtuelle de la main de l'utilisateur;
- Le cube représente la position réelle de la main de l'utilisateur.

- b) La technique Stretch Go-Go pour la selection et la manipulation (Bowman, 1999)

b) La technique Go-Go (Poupyrev et al., 1996)

LES TECHNIQUES EGOCENTRIQUES

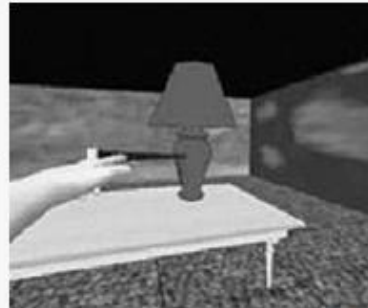
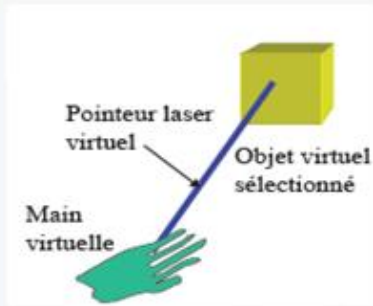
Le *Ray-Casting* est une technique de pointage basée sur la métaphore du rayon virtuel. Un rayon laser infini part de la main virtuelle et traverse tout le monde virtuel. Le premier objet intersecté dans le monde sera apt à être sélectionné (Bolt, 1980)

- simples cognitivement et faciles à utiliser,
- problème pour la sélection des objets de petite taille ou distants

si les objets éloignés deviennent petits avec la distance, alors l'outil de sélection doit être plus grand pour pouvoir les sélectionner facilement.

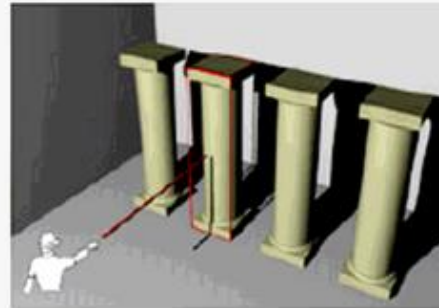
Utilisation d'un cône avec l'angle d'ouverture du cône en fonction de la position des objets à sélectionner dans l'environnement (Forsberg *et al.*, 1996)

TECHNIQUES BASÉES SUR LA MÉTAPHORE DU POINTEUR VIRTUEL.



(Bowman et al., 1997)

a) La technique Ray-Casting (sélection à l'aide d'un rayon virtuel)



b) Utilisation d'un cône à la place du rayon laser (Liang et al., 1994)

LES TECHNIQUES EGOCENTRIQUES

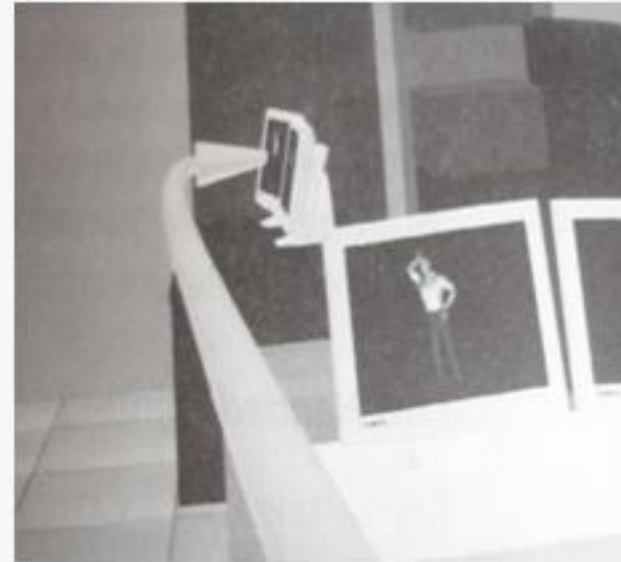
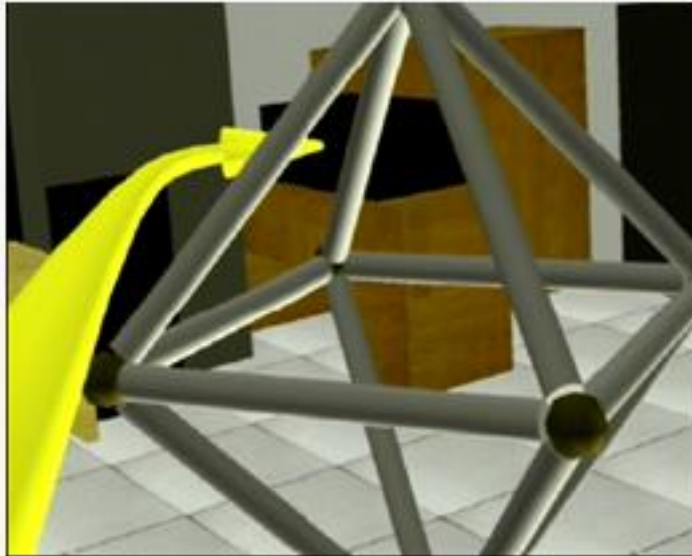
La technique **rayon flexible** le rayon peut être dirigé dans l'espace afin d'éviter les obstacles. La courbure et la longueur du rayon sont contrôlées à l'aide des deux mains. (Olwal et al., 2003)

la métaphore **dirigée du doigt** (Pierce et al., 1997). nécessite que l'index soit repérable dans l'espace virtuel en utilisant un capteur de position attaché au doigt.

métaphore **direction du regard** (Tanriverdi et al., 2000). l'utilisateur pointe les objets qu'il veut sélectionner avec son regard.

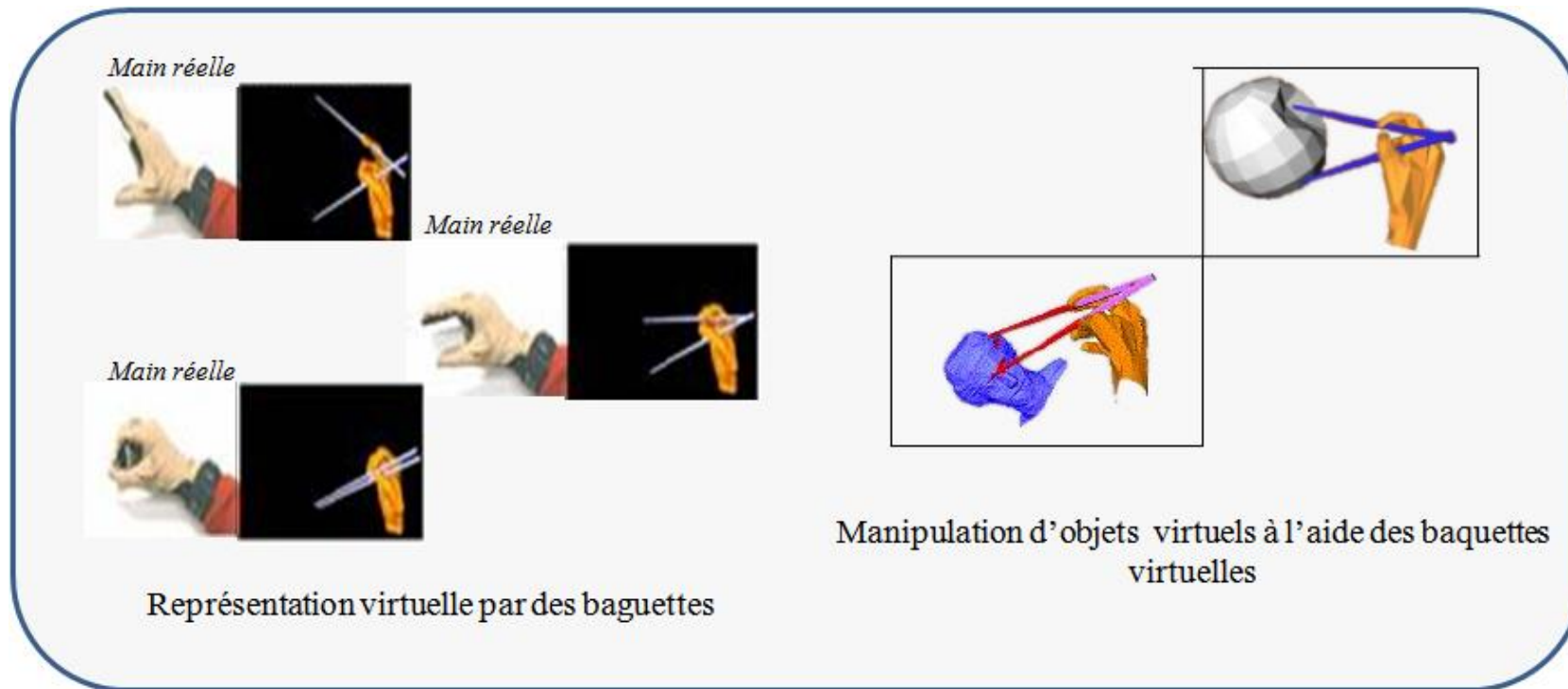
(Ware et al., 2000) utilisent des objets réels, de formes similaires aux objets virtuels, sur lesquels ils effectuent des manipulations. Baguette chinoise.

LA TECHNIQUE RAYON FLEXIBLE



Le pointeur flexible permet de sélectionner des objets complètement ou partiellement cachés par d'autres objets (Olwal and Feiner 2003)

LA MANIPULATION PAR BAGUETTES CHINOISES



LES TECHNIQUES EXOCENTRIQUES

l'utilisateur interagit avec l'environnement 3D de l'extérieur de celui-ci. Dans ce cas, l'utilisateur est considéré comme un acteur qui ne fait pas partie de la scène virtuelle, mais il a tout de même le pouvoir d'agir sur les entités du monde virtuel.

monde-en-miniature (Stoackley *et al.*, 1995)

- problème des objets petits à l'origine

Poupées Vaudou représentation d'un sous espace du monde virtuel désigné par l'utilisateur. (Pierce *et al.*, 1997)



a) La technique Monde-En-Miniature (Stoackley et al., 1996)

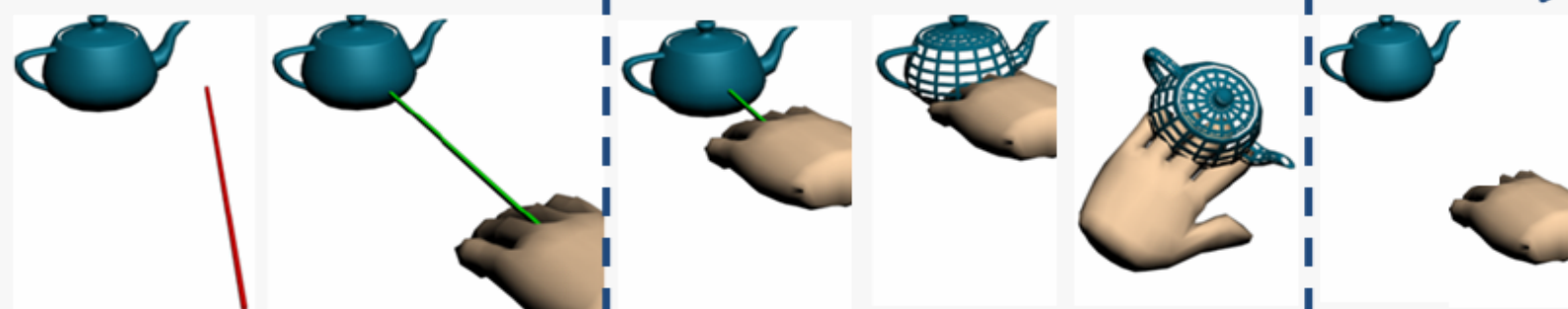


b) La technique Poupée Vaudou (Pierce et al., 1999)

LES TECHNIQUES HYBRIDES

HOMER : allie la rapidité de la technique Ray-Casting pour la sélection et la précision de la technique Main Virtuelle Simple pour la manipulation (Wloka *et al.*, 1995)

La technique « changement d'échelle » (Mine *et al.*, 1997) utilise la technique direction du regard pour la sélection. Les objets sont diminués pour que l'utilisateur puisse les manipuler directement.



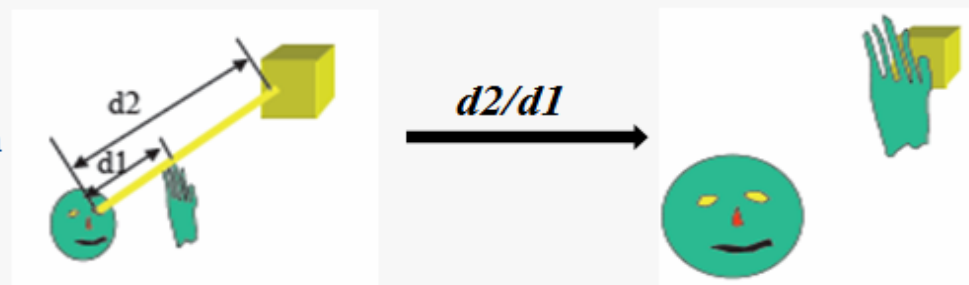
Sélection à l'aide du rayon virtuel

Manipulation de l'objet virtuel (l'avatar de la main vient se porter à la hauteur de l'objet)

L'objet est manipulé et la main virtuelle reprend sa position initiale

a) La technique HOMER (Bowman et al., 1997)

Sélection par occlusion



Changement d'échelle pour permettre à l'utilisateur de manipuler directement l'objet sélectionné

b) La technique Changement d'échelle (Mine et al., 1997)

LE CONTRÔLE D'APPLICATION

est une tâche qui permet d'exécuter une commande dans le but de changer le mode d'interaction et/ou l'état du système.

L'utilisateur agit sur l'application en utilisant les services assurés par l'application elle-même.



Utilisation d'un rayon virtuel pour sélectionner dans un menu.

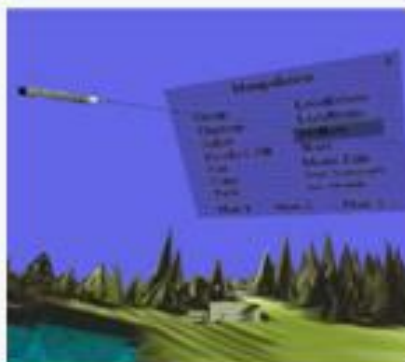


Image du projet Infinite-3D (Rice University)

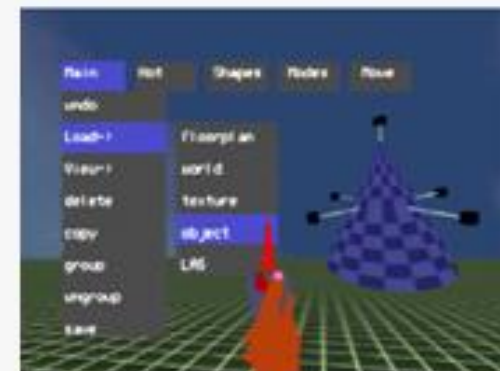
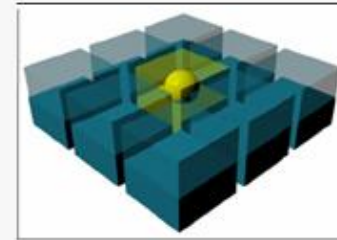
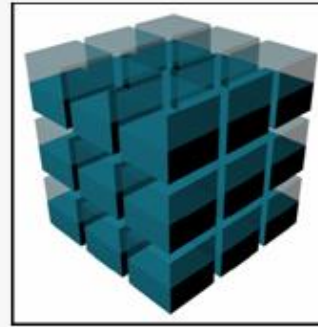


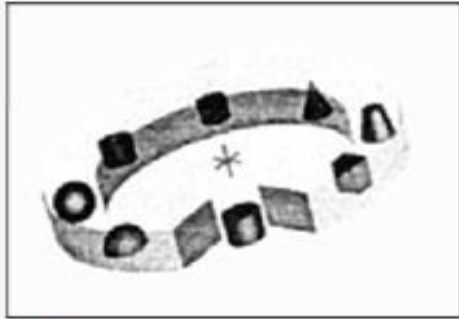
Image de (Bowman, 1999)



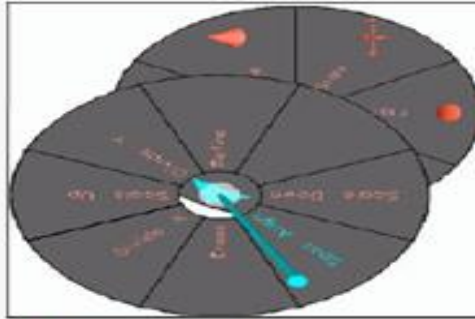
a) Menu TULIP (Bowman et al., 2001)



b) Menu 3D C3 en vue complète et partielle (Grosjean et al., 2002)



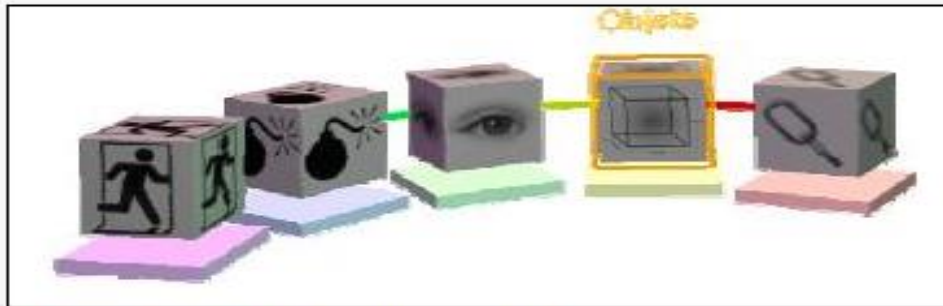
Menu en anneau



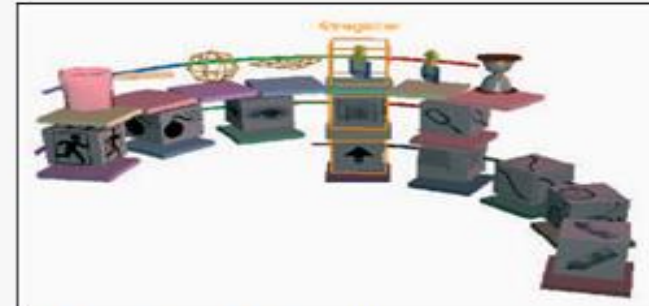
Menu sous forme de cadran solaire



Menu en anneau hémisphérique à sélection par lancer de rayon contraint



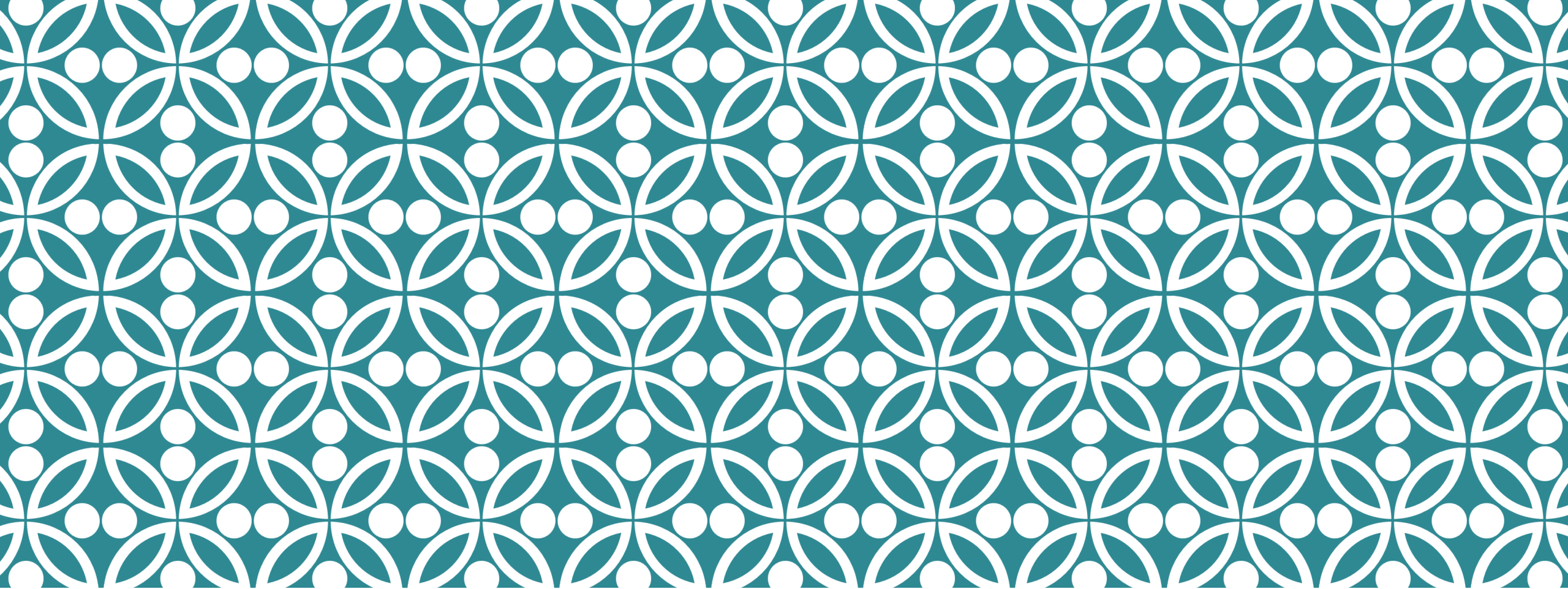
Menu Spin, de forme hémisphérique



Menu Spin hiérarchique

RÉSUMÉ

Technique de Sélection/Manipulation	Facteurs de performance		
	Précision	Sécurité	Charge cognitive faible
Ray-Casting	-	-	+
Flashlight	-	-	+
Main Virtuelle Simple	-	—	+
Go-Go	-	-	-
Monde-En-Miniature	+	-	-
PRISM	+	-	-
HOMER	-	-	+
StickyFinger	-	-	-



CHAPITRE 3

Détection et réponse à la collision

DÉTECTION DE COLLISION

- Détecter à tout instant les objets en contact.
- La méthode de détection de collision utilisée dépend de la nature des objets et de la réponse souhaitée à la collision.
- Temps de calcul relativement important, des approches accélératrices sont nécessaires.

PIPELINE DE DÉTECTION DE COLLISION

la complexité de la détection de collision varie suivant :

- le nombre d'objets évoluant dans la scène virtuelle,
- la réponse souhaitée et
- la représentation des objets,

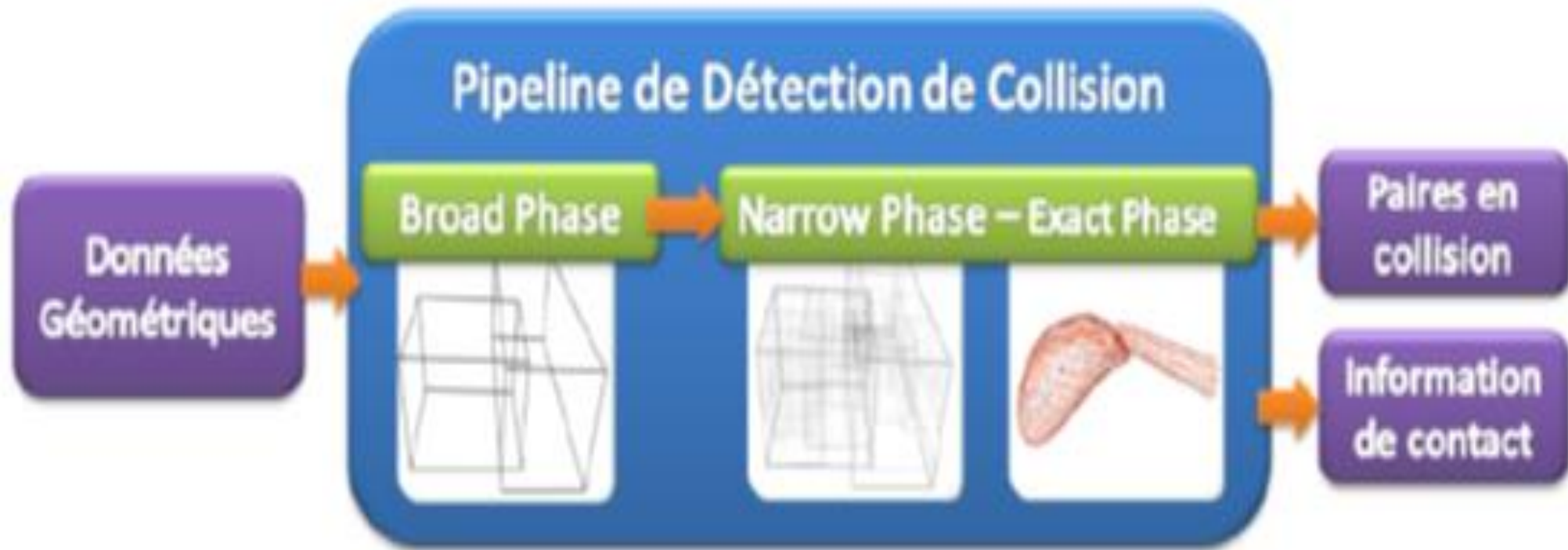
Afin de réduire cette complexité, les algorithmes de détection de collision sont construits en pipeline de trois niveaux:

1-Niveau volumes englobant l'objet :détection grossière (Broad phase)

2-Niveau optimisation: détection étroite (Narrow phase)

3-Niveau objet: détection exacte (Exact phase)

PIPELINE DE DÉTECTION DE COLLISION



DÉTECTION GROSSIÈRE

- Basée sur une décomposition spatiale de la scène virtuelle,
- élimine rapidement l'espace virtuel où l'interaction entre les objets est impossible,
- sélectionne les paires d'objets pouvant rentrer en collision.

Comprend les méthodes:

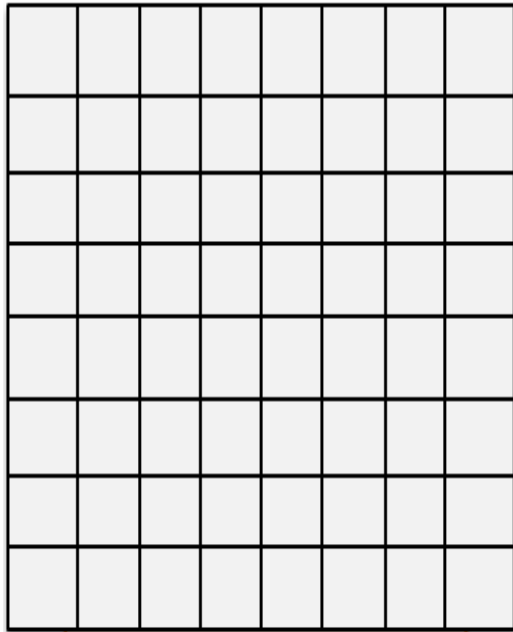
- partitionnement de l'espace,
- topologique,
- cinématique,

MÉTHODES DE PARTITIONNEMENT SPATIAL

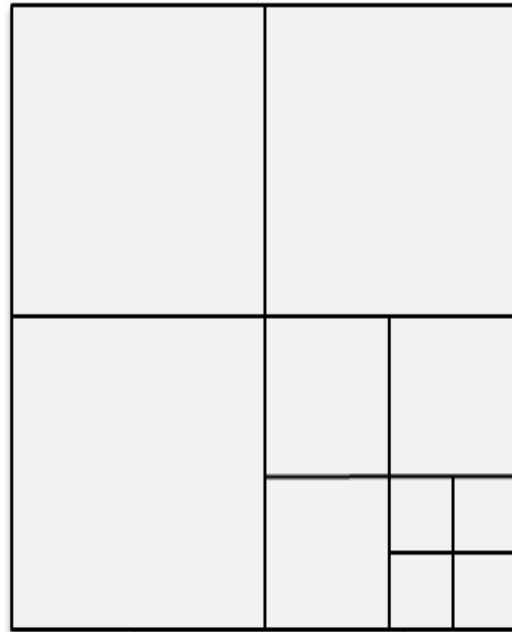
Basée sur le principe que deux objets distants ne peuvent être en collision,

- Divise l'espace en unité uniforme ou hétérogène tel que
les voxels, les octree, les quadtree, les K-d tree, les BSP Binary Space Partitioning.
- Indique qu'il y'a collision s'il existe une unité appartenant à plus d'un objet.
- s'adaptent bien au corps déformable.

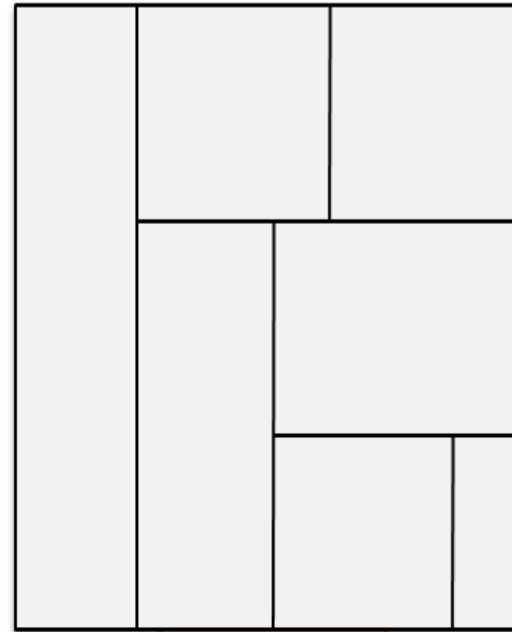
MÉTHODES DE PARTITIONNEMENT SPATIAL



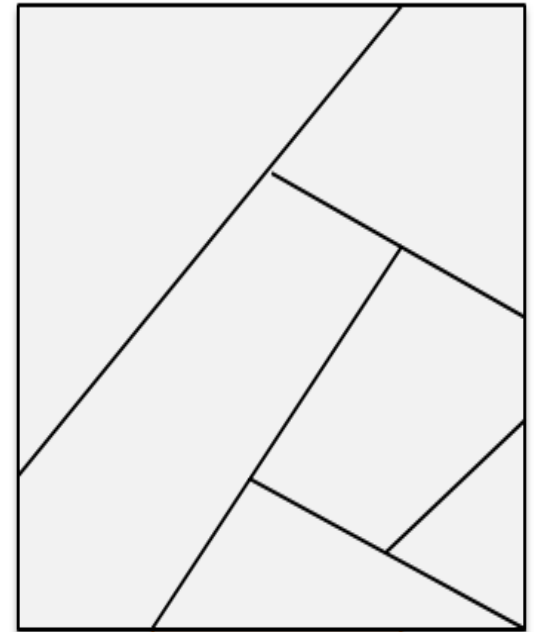
Grille Uniforme



Quadtree



Kd-Tree



BSP Tree

MÉTHODES TOPOLOGIQUES

Exploitent l'information sur la position des objets les uns par rapport aux autres.

- **Sweep and Prune** [Cohen, 1995] : la plus connue et la plus utilisée,
- fixe les contours pour obtenir un contour global de chaque objet,
- ces contours sont alignés sur les axes X, Y et Z,
- il suffit de vérifier si une éventuelle intersection sur tous les axes existe,
- s'adaptent bien au corps déformable.

MÉTHODES CINÉMATIQUES

Tiennent compte du mouvement des objets,

- si deux objets se déplacent vers des directions opposées, ils ne peuvent pas rentrer en collision.
- [Vanecek, 1994] a utilisé la cinématique des objets couplée à une méthode de filtrage des faces cachées pour accélérer la détection de collision.

DÉTECTION ÉTROITE

Méthodes de force brute

Algorithmes basées caractéristiques

Algorithmes basées simplex

MÉTHODES DE FORCE BRUTE

Comparaison de l'ensemble des volumes englobant des objets afin de savoir s'ils sont ou non en collision.

Les volumes englobant peuvent être

- des sphères,
- AABB les boîtes englobant alignées sur les axes [Bergen, 1997],
- OBB les boîtes englobant orientées [Gottschalk, 1996],
- cônes, des cylindres et autres.
- s'adaptent bien au corps déformable.

MÉTHODES DE FORCE BRUTE

Détermine les éléments caractéristiques les plus proches (sommet, arrête, facette)

- calcule la distance euclidienne entre les 2 polyèdres.
- si la distance est positive alors aucune intersection n'est possible
 - Sinon intersection.

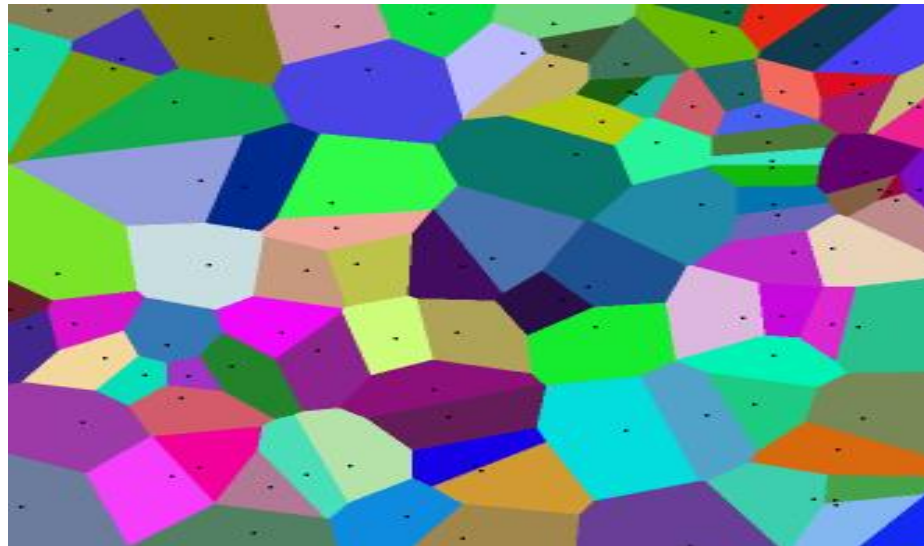
La distance est calculée par:

calcul incrémental de la distance entre objets polygonaux convexes obtenue en utilisant la distance calculée à l' instant précédent.

ALGORITHMES BASÉES CARACTÉRISTIQUES

Voronoi marching (1991 Lin et Canny)

- calcule la distance entre les primitives (faces, arêtes et sommets).
- divise l'espace autour des objets en régions de Voronoi ce qui permet de pouvoir détecter quelles sont les primitives les plus proches entre deux polyèdres.



ALGORITHMES BASÉES SIMPLEX

Gilbert, Johnson et Keerthi (GJK)

Utilise la différence de Minkowski sur les polyèdres.

- Deux objets convexes sont en collision si et seulement si leur différence de Minkowski contient l'origine du repère dans lequel ils sont projetés.
- Plusieurs extensions de l'algorithme de GJK ont été proposées pour des applications spécifiques.
- Enhanced GJK (EGJK) [Cameron, 1997]. Joukhadar et Laugier (JL) [Joukhadar, 1996]. SOLID [Van der Bergen, 1999]

DÉTECTION EXACTE

Basée sur une décomposition d'objets

- Sélectionne les entités exacte en collision si celle-ci existe.
- Détermine aussi dans ce cas le degré approximatif d'interférence entre les objets en collision.
- Cette étape permet de calculer de façon exacte les entités en collision une fois qu'une approximation de la zone de contact est effectuée.
- Cette approximation est représentée par une liste de couples de feuilles des hiérarchies.

ALGORITHMES BASÉES VOLUMES ENGLOBANT

Construit une hiérarchie de volumes englobant

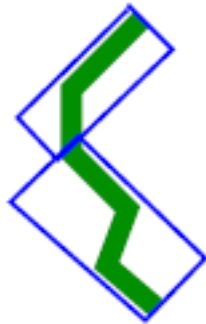
- localiser rapidement la zone de collision.

- la hiérarchie permet de représenter les différents volumes englobant d'un objet sous forme d'arbre

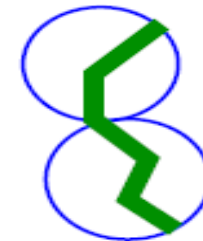
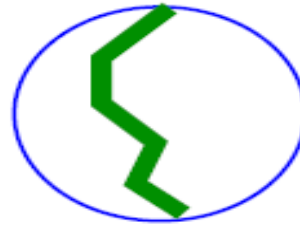
Axis Aligned Bounding Boxes (AABB) [Van der Bergen, 1997], les Oriented Bounding Boxes (OBB) [Gottshalk, 1996] ou les sphères [Hubbard, 1996] en arbre binaire, quadtree, octree

- Réduire le nombre de tests à mettre en œuvre.

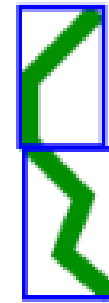
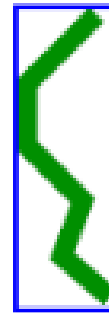
ALGORITHMES BASÉES VOLUMES ENGLOBANT



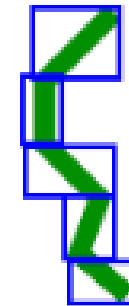
OBB



Sphère



AABB



ALGORITHMES BASÉES IMAGE

Utilisent les requêtes d'occultation dans l'espace image,

- bien adaptés à l'utilisation sur carte graphique,
- le lancer de rayon "rasterisent" et le Depth Peeling [Everitt, 2001],
- tests de chevauchement.

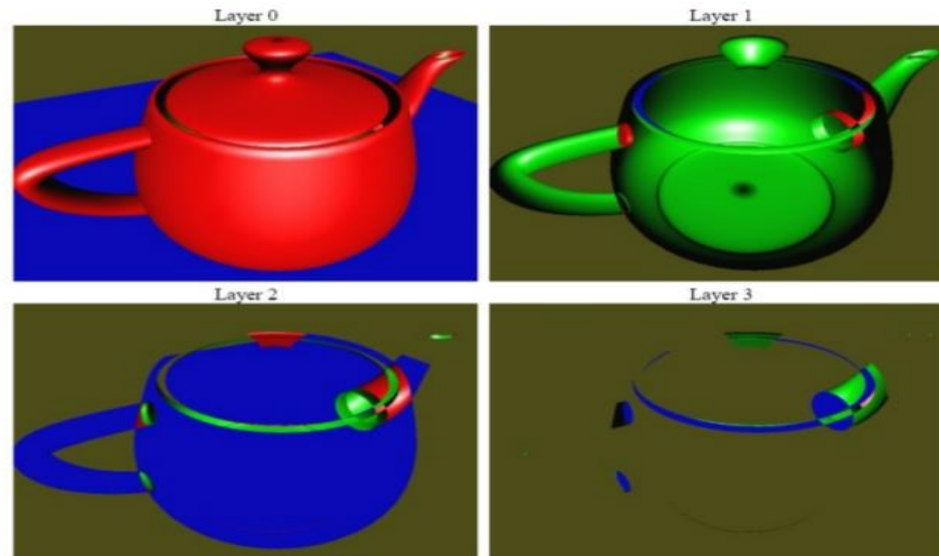


Figure 3. These images illustrate simple depth peeling. Layer 0 shows the nearest depths, layer 1 shows the second depths, and so on. Two-sided lighting with vivid coloring is used to help distinguish the surfaces.

AUTRES APPROCHES D'ACCÉLÉRATION

Accélération du temps de calcul sont apparues tant exploitant l'évolution du matériel que des bibliothèques.

Utilisation du matériel

1. Les GPU Graphics Processing Unit

- ont connues une grande évolution en puissance de calcul ces dernières années,
- permet un traitement hautement parallélisable mise à profit pour l'accélération des calculs de détection de collision.
- l'approche espace image [Heidelberger,2004],
- l'implémentation de la broad phase sur GPU [Baraff,1992],
- implémentation du lancer de rayon sur GPU [Govindaraju, 2005],

AUTRES APPROCHES D'ACCÉLÉRATION

2. *l'architecture multi-cœurs*

- [Govindaraju,2005] implémente un algorithme à cohérence temporelle pour objets déformable sur une architecture à 8-coeurs.
- [Tang, 2008] propose une méthode d'assignement dynamique des tâches pour adaptation hiérarchique d'une détection de collision en volume englobant,
- [Kim, 2008] propose de paralléliser une simulation physique interactive sur un processeur à 16-cœurs,
- [Hermann,2009] implémente l'algorithme *sweep and prune* sur une architecture multi-coeurs.

AUTRES APPROCHES D'ACCÉLÉRATION

Utilisation du software

Le GPGPU General-purpose Processing on Graphics Processing Unit accélère le temps de calcul en implémentant des calculs auparavant destinés au CPU,

des langages comme Book, CUDA (Compute Unified Device Architecture) et OpenCL (Open Computing Language) permettent de faire des calculs parallèles sur GPU.

AUTRES APPROCHES D'ACCÉLÉRATION

La programmation parallèle connaît son plein essor avec l'architecture multi-cœur,

- OpenMp utilisé dans [Hermann, 2009],
- Intel Threading Building Blocs TBB [Avril, 2009] sont des outils pour la programmation parallèle mise à profit pour l'accélération des processus de détection de collision.
- [Reinders, 2007] propose aussi une parallélisation du pipeline de détection de collision ou il propose d'exécuter la broad phase sur une architecture multi-cœurs à l'aide du multi-threading et d'exécuter la narrow phase sur plusieurs GPU en parallèle.

AUTRES APPROCHES D'ACCÉLÉRATION

proposent une nouvelle étape se situant entre la Broad phase et la Narrow phase où avant chaque test élémentaire, ils appliquent deux filtres successifs.

- Le premier est un filtre linéaire réduisant les coordonnées des éléments dans R tandis que le second est un filtre planaire dans R^2 . Cette technique permet d'élaguer très largement les tests élémentaires à effectuer et ainsi de réduire significativement le temps de calcul.
- OpenMask [Margery, 2002] plateforme offrant un compromis entre le calcul haute performance, l'abstraction et la modularité des programmes de réalité virtuelle de tous types.
- FlowVR [Allard, 2006] est un middleware spécialement conçu pour les applications de réalité virtuelle distribuées sur architectures de types grilles ou clusters.

RÉPONSE À LA COLLISION

- la réponse peut être booléenne (oui/non),
- une mesure de distance de séparation entre objets,
- une identification des surfaces en interaction,
- un volume d'interaction ou un vecteur d'extraction

L'environnement virtuel évolue après une collision,

- peut émettre un son,
- engendrer des phénomènes physique liés aux propriétés mécanique des objets en collision,
- des objets déformables changent de topologie
- produit une force de séparation et un changement de la vitesse de ces objets.