

Techniques de détection des collisions statiques et accélérations

Philippe Meseure

Équipe Graphix - LIFL - Université de Lille 1
Projet Alcôve - INRIA Futurs



Plan

- Problématique de la détection statique
- Détection entre primitives
- Accélération de la détection
- Conclusion



Problématique

■ Hypothèses

- De nombreux objets
- Au moins un objet mobile

■ Détection exacte vs accélération

■ Détection statique

■ Détecter les recouvrements d'objets :

- Détection d'intersection vide
- Distance de séparation entre objets
- Intersection des surfaces
- Mesure des interpénétrations (profondeur, volume...)
- Calcul de l'intersection

■ Purement 3D, sans intervention de la variable temps



Les Types de détection

Détection spatiale

Statique

Intersection vide
Distance inter-objets
Intersection des surfaces
Mesure des interpénétrations
Intersection

Interpénétration ?

Détection spatio-temporelle

Discrète

Dichotomie
Anticipation
Retour arrière

Instant du contact ?

Continue/ dynamique

Intersection 3D des
volumes de trajectoire
Intersection 4D
Calculs analytiques



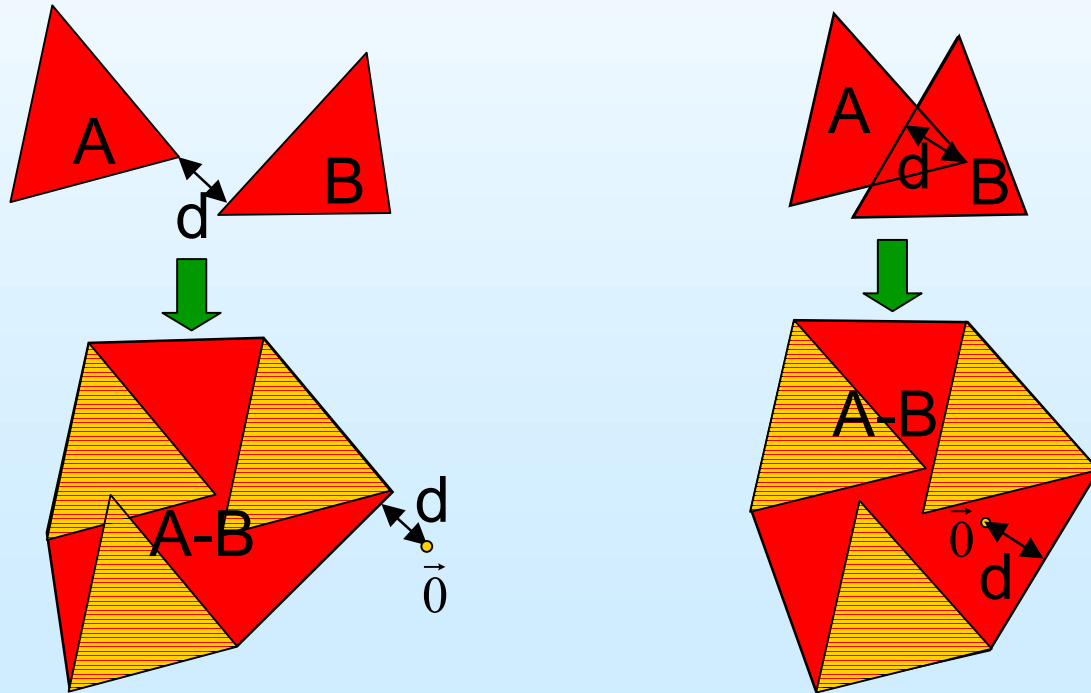
Plan

- Problématique de la détection statique
- **Détection entre primitives**
 - Cadre théorique
 - Polyèdres convexes
 - Polyèdres quelconques
 - Surfaces implicites
 - Surfaces paramétriques
 - Autres ?
- Accélération de la détection
- Conclusion

Cadre théorique

- Différence de Minkowski

$$A - B = \{ \vec{p} = a - b; a \in A \text{ et } b \in B \}$$

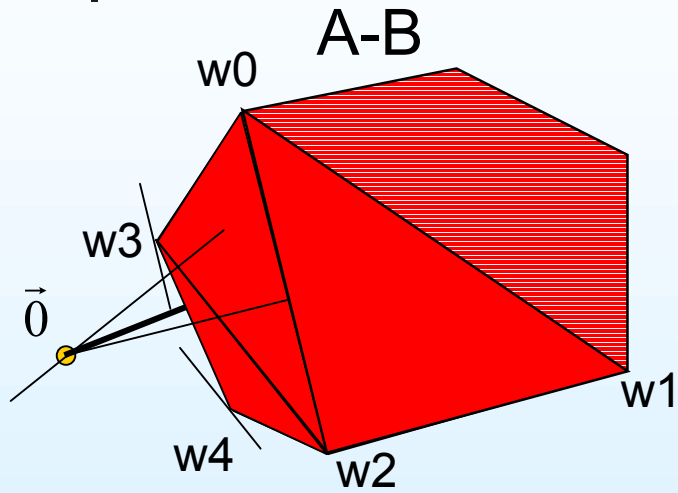


- La différence de 2 objets convexes est convexe

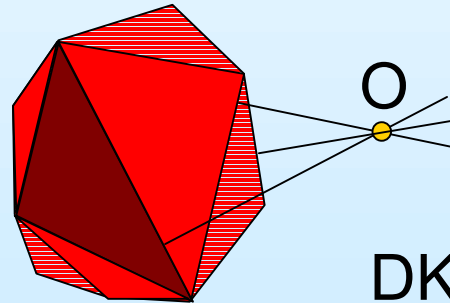
Détection entre polyèdres convexes

- Non-intersection par plan séparateur
 - Construction itérative spécifique [Chung et al. 96]
 - Recherche itérative par calcul de points supports [Bergen 99]
- ⇒ Utilisation de la cohérence temporelle
- Calcul de distance de séparation
 - GJK [Gilbert et al. 88]
 - Voronoï Marching [Lin et Canny 91]
 - Hiérarchie décroissante (au sens de l'inclusion) de polyèdres [Dobkin et Kirkpatrick 90]

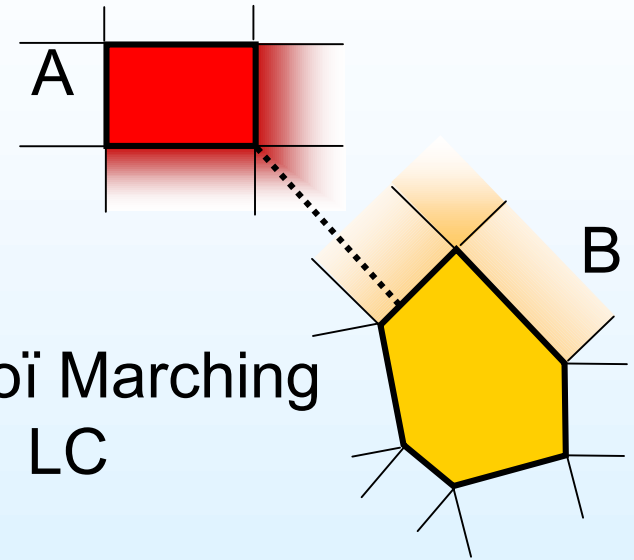
Comparaison des algorithmes de distance



GJK



DK



Voronoi Marching
LC

+ Utilisation de la cohérence temporelle

[Cameron 97, Van den Bergen 98] [Lin Canny 92] [Guibas et al. 99]

Détection entre polyèdres convexes



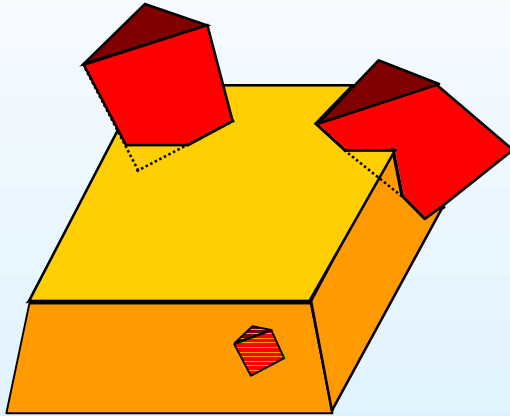
- Calcul d'interpénétration
 - Modifications du GJK
 - [Cameron 97] : calcul approximatif
 - [Joukhadar et al. 99] : calcul itératif
 - [Bergen 01] : prolongement du GJK
 - DEEP [Kim et al. 02]
 - Utilisation des cartes de normales (espace de Gauss) pour détecter les facettes intervenant dans le calcul
- Calcul de l'intersection
 - Utilisation des BSP [Naylor et al. 90]

Détection entre polyèdres quelconques

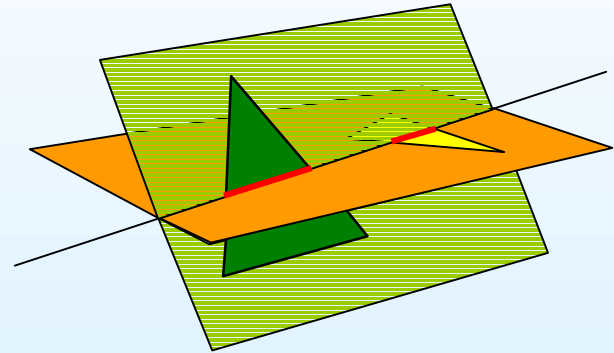
- Décomposition en parties convexes et utilisation des algorithmes précédents ⇒ Insatisfaisant
- Non intersection par plan séparateur
Calculé par optimisation :
 - Programmation linéaire [Seidel 90]
 - Recuit simulé [Zachmann 01]
- ⇒ Utilisation de la cohérence temporelle
- Calcul de distance
 - Utilisation de hiérarchie de volumes simples
 - Sphères [Quinlan 94, Johnson et Cohen 98]
 - Enveloppes convexes [Ehmann et Lin 01]

Détection entre polyèdres quelconques

- Calcul des parties en intersection



Calcul aux sommets et
entre arêtes et faces
[Boyse 79, Moore et al. 88]



Test entre facettes
de [Möler 97]

- Calcul d'interpénétration

- Utilisation de DEEP sur une hiérarchie de volumes convexes [Kim et al. 02]

Détection entre surfaces implicite

- Utilisation de la fonction dedans dehors

- Détection de non-intersection

- Trouver un point de potentiel positif pour les deux objets
Méthode de [Savchenko 95]:

$$\sup \left\{ F(M) + G(M) - \sqrt{F^2(M) + G^2(M)} \right\} \geq 0 ?$$

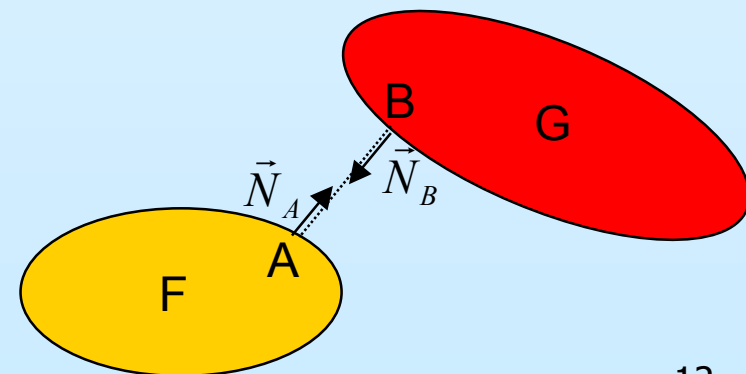
- Calcul d'interpénétration

- Carte de distance [Fisher et al. 02]

- Calcul de distance

- Trouver A , B , λ et μ tels que [Lin et Manocha 95] :

$$\left\{ \begin{array}{l} F(A) = 0 \\ G(B) = 0 \\ \overrightarrow{\text{grad}F(A)} = \lambda \overrightarrow{\text{grad}G(B)} \\ \overrightarrow{AB} = \mu \overrightarrow{\text{grad}G(B)} \end{array} \right.$$



Détection entre surfaces paramétriques

■ Intersection

- Approximation par des volumes englobants (hiérarchie) et approximation de la surface par des triangles [Von Herzen et al. 90]

■ Calcul de distance

- Trouver $s_0, t_0, u_0, v_0, \lambda$ et μ [Lin et Manocha 95] :

$$\begin{cases} F(s_0, t_0) - G(u_0, v_0) = \lambda \left(\frac{\partial G}{\partial u}(u_0, v_0) \wedge \frac{\partial G}{\partial v}(u_0, v_0) \right) \\ \frac{\partial F}{\partial s}(s_0, t_0) \wedge \frac{\partial F}{\partial t}(s_0, t_0) = \mu \left(\frac{\partial G}{\partial u}(u_0, v_0) \wedge \frac{\partial G}{\partial v}(u_0, v_0) \right) \end{cases}$$

- Utilisation des domaines convexes

- GJK [Turnbull et Cameron 97]
- Hiérarchie de volumes [Johnson et Cohen 98]

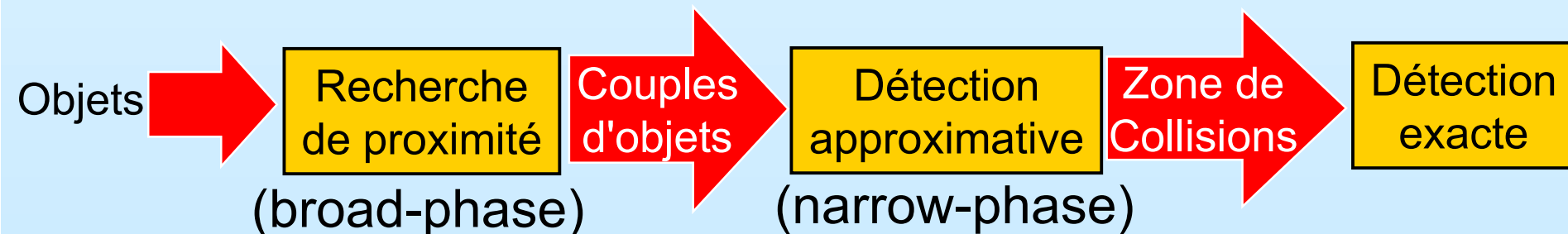


Plan

- Problématique de la détection statique
- Détection entre primitives
- **Accélération de la détection**
 - Problématique
 - Détection de proximité
 - Détection approximative
- Conclusion

Problématique de l'accélération

- Deux goulets d'étranglement
 - Détection entre deux objets
 - Détection entre les objets
- But de l'accélération :
 - Trouver les objets en forte probabilité de collisions
 - ↳ Détection des non-collisions sûres
- Organisation en pipeline :

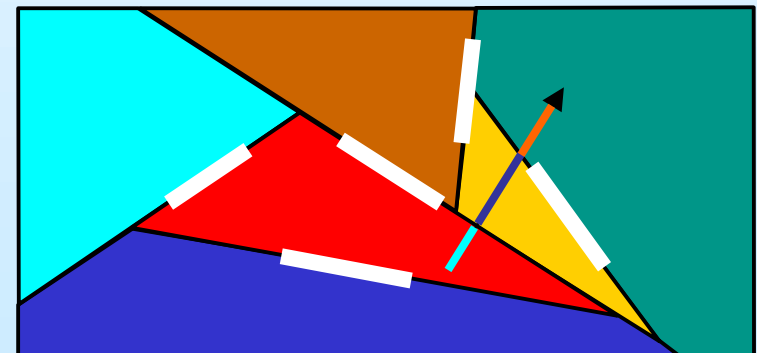
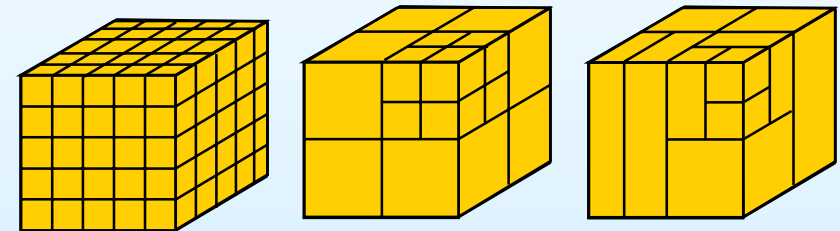
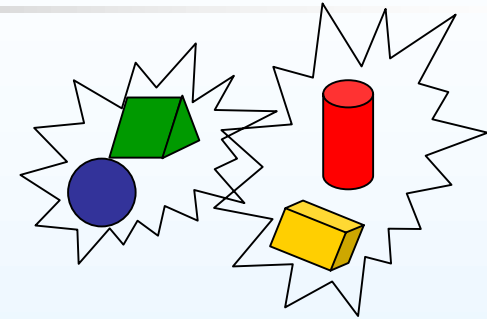


La détection de proximité

Les stratégies (1)

■ Division spatiale

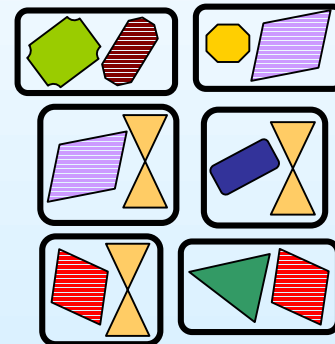
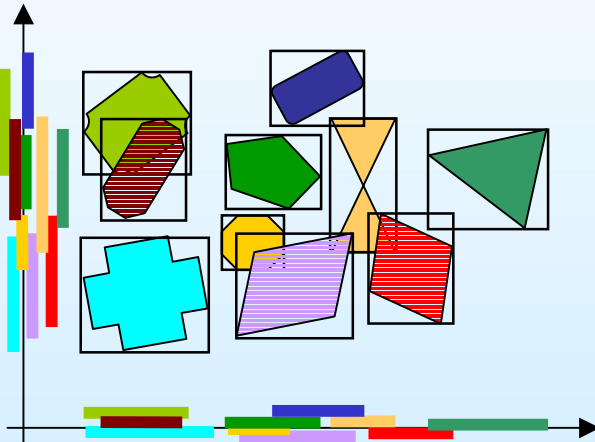
- Sélectionner les objets dans une même zone
- Indépendamment des objets :
 - *voxels* [Turk 89]
 - *octrees* [Bandi et al. 95] [Thatcher 00]
 - *k-d trees* [Held et al. 95]
- En fonction de l'environnement :
 - *BSP* [Carmack 95]
 - *maillage tétraédrique conforme* [Held et al. 95]
- Idéal pour les environnements statiques



La détection de proximité

Les stratégies (2)

- Classement topologique : *sweep and prune* [Cohen et al. 95]



6 couples sur 45
sont retenus mais seuls
4 sont en collisions

- Critères cinématiques

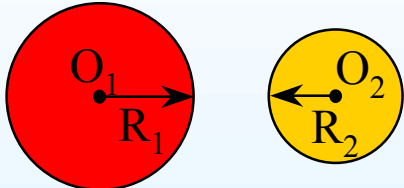
- Éliminer les objets qui s'éloignent [Vanecek 94] [Redon 02]
- Prédire l'instant des collisions [Culley et al. 86] [Lin et Canny 92] [Dworkin 94] [Kim et al. 98]

Détection approximative

Volumes d'approximation

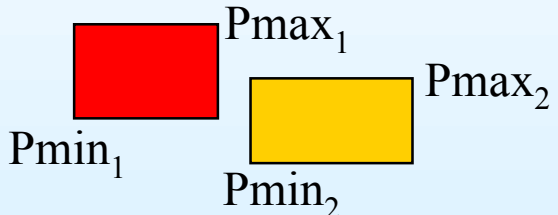
- Utilisation de volumes d'approximation :

Sphères



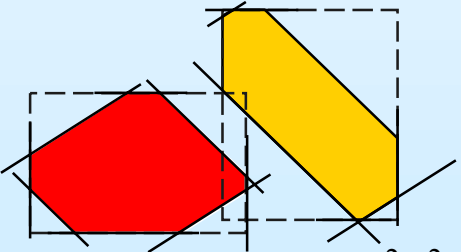
$$\text{dist}(O_1, O_2)^2 > (R_1 + R_2)^2$$

AABB



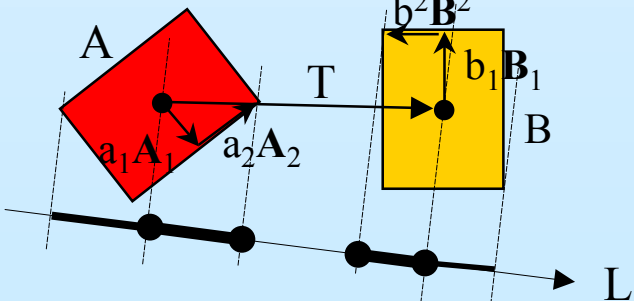
$$\bigwedge_{\substack{k \in \{1,2,3\} \\ (i,j) \in \{1,2\}}} P \max_i[k] < P \min_j[k]$$

k-DOP



$$\bigwedge_{\substack{l \in \{1, \dots, k\} \\ (i,j) \in \{1,2\}}} P \max_i[l] < P \min_j[l]$$

OBB



$$|\vec{T} \cdot \vec{L}| > \sum_i |a_i \vec{A}_i \cdot \vec{L}| + \sum_i |b_i \vec{B}_i \cdot \vec{L}|$$

Choix parmi 15 directions différentes

Détection approximative

Volumes d'approximation

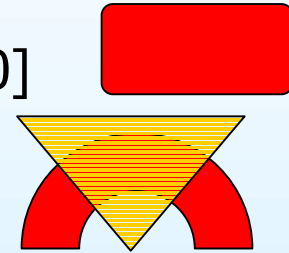
- Volumes pour les fortes proximités :

- QuOSPO [He et al. 99]

- Rectangle swept-spheres [Larsen et al. 00]

- Spherical shells [Krishnan et al. 98] :

- Enveloppes convexes [Ehmann et al. 01]



- Volumes englobants = détection de non collisions

- Volumes englobés = détection de collisions sûres

- Organisation en hiérarchie de volumes (BVH)

Détection approximative

Hiérarchies de volumes



- Exemples de hiérarchies :
 - Arbres de sphères [Hubbard 96][Tzafestas et al. 96]
[Palmer et al. 95][Quinlan 94][Redon et al. 01]
 - Arbres d'AAB [Hahn 88] [von Bergen 1997] [Larsson et al. 01],
R-Tree [Held et al. 95], BoxTree [Barequet et al. 96]
 - k-Dop [Klosowski et al. 98] [Zachmann 98]
 - Box-Tree [Zachmann 95]
 - Subdivision en boîtes [Alonso et al. 94]
 - OBB-Tree [Gottshalk et al. 96]
 - QuOSPO [He 99]
 - Spherical-shells [Krishnan et al. 98]



Détection approximative Hiérarchies de volumes

■ Fonctionnement général :

- Nombre de fils : 2 à 8
- Si test de collision entre les volumes positif
alors on inspecte les volumes des étages inférieurs
- A la fin : test entre facettes

■ Constructions

- bottom-up ou up-bottom
- Comment répartir les primitives dans les volumes :
Cohérence géométrique ou topologique ?

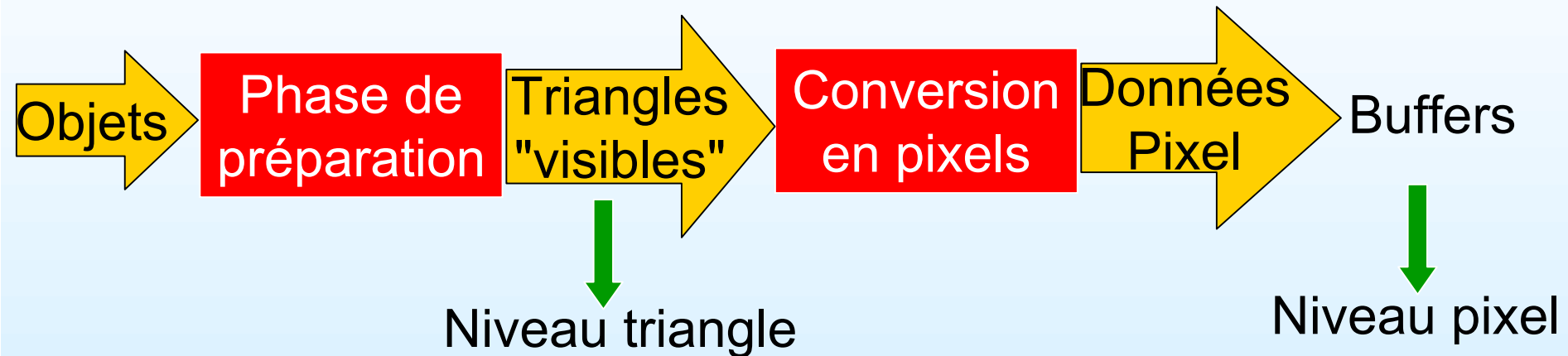
■ Optimisations

- Détection adaptative [Hubbard 96] [O'Sullivan et al. 02]
- Cohérence Temporelle : test des niveaux du pas précédent
Generalized front tracking [Ehmann et al. 01]

Détection approximative

Le matériel graphique (1)

- Architecture générale :



- Niveau triangle

- Utilisation du mode "feedback"

Le cône de visée est un volume d'approximation
[Lombardo et al. 99]



Détection approximative

Le matériel graphique (2)

- Niveau pixel : méthode basée image
 - Combinaison du Z-buffer et d'un autre buffer pour identifier les objets
 - Mémoire de trame [Zachmann 94], Stencil buffer [Baciu et al. 99]
 - Construction de la différence de Minkowski [Kim et al. 02]
La distance à l'origine est calculée dans le Z-buffer.
 - Problèmes
 - Résolution de l'image (espace discret)
 - Relecture lente des buffers
 - Obligation d'inspecter tous les pixels de l'image par le CPU
Exception : utilisation de l'occlusion_query (extension HP ou NV)
[Govindaraju, Redon et al. 03]



Exemple de pipelines

- V-Collide [Lin et al. 96]

Sweep and prune
Couples d'objets proches



Distance entre les enveloppes
convexes (Voronoi Marching)
Couples d'objets en collisions



OBB-Tree
Couples de primitives



Intersection entre triangles

- Q-Collide [Chung et. al. 96]

Partionnement de l'espace en voxels



Dans chaque voxel, sweep and prune
Couples de polyèdres proches



Recherche d'un plan séparateur entre
polyèdres



Détection fine (GJK)

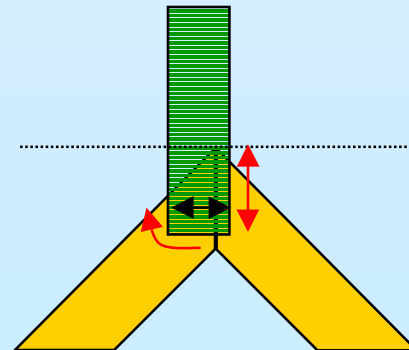
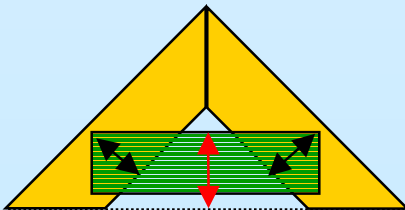
Conclusion (1)

■ Efficacité

- Broad-phase n'est rentable qu'à partir de 100 objets [Zachmann 01]
- Tests entre hiérarchies de volumes englobants coûteux si de nombreux couples sont à tester

■ Les algorithmes les plus efficaces sont cantonnés aux polyèdres convexes

- La décomposition des objets en parties convexes ne résout pas le calcul de l'interpénétration





Conclusion (2)

- Comparaison difficile
 - Forte dépendance avec l'application
- Problèmes de stabilité des méthodes
- Corps déformables ?