Gestion efficace des polygones complexes pour la radiosité

François Cuny - Christophe Winkler - Laurent Alonso - Nicolas Holzschuch

Équipe ISA
LORIA
Technopôle de Nancy-Brabois
615 rue du Jardin Botanique
B.P. 101
54602 Villers-lès-Nancy CEDEX
Francois.Cuny@loria.fr

Résumé : *Dans cet article, nous présentons une nouvelle méthode pour effectuer les calculs de radiosité sur des facettes polygonales complexes, telles que des polygones concaves ou même troués. De tels polygones sont fréquemment présents dans les scènes issues de modeleurs géométriques commerciaux. Nous présentons également une méthode de subdivision qui permet d'améliorer le rapport longueur/largeur des polygones au fur et à mesure de leurs subdivisions. Ces deux méthodes permettent de réduire de façon significative la mémoire utilisée lors des calculs de radiosité ainsi que le temps de calcul, sans perte de précision.*

Mots-clés : Simulation de l'éclairage, radiosité, ondelettes, géométrie

1 Introduction

La simulation des phénomènes lumineux pour faire du rendu réaliste est un domaine de recherche très actif depuis une dizaine d'années. De nombreuses approches ont été proposées pour effectuer cette simulation. Parmi elles les méthodes de radiosité introduites par C. Goral *et al.* [GTGB84], ont prouvé leur efficacité pour calculer une solution indépendante du point de vue. Cependant la complexité théorique de ces approches est en $O(n^2)$ par rapport au nombre total d'éléments n. Une amélioration significative de ces méthodes réside dans l'introduction des approches hiérarchiques [CGIB86, HSA91] et plus particulièrement dans leur formalisation avec l'utilisation de fonctions de base de type ondelettes [Sch94, GSCH93]. Ces approches ramènent la complexité à $O(k^2+n)$ où k et n sont respectivement le nombre de surfaces initiales et d'éléments finaux. La dernière extension en date de ces algorithmes a été une méthode de regroupement de facettes, connue sous le nom de *clustering* [SAG94]. Le gain en terme de complexité, qui est descendue à $O(k \log k + n)$, est cependant contrebalancé par l'apparition de nouveaux problèmes, notamment en ce qui concerne des erreurs dues à une approximation plus grossière de la visibilité entre ces regroupements de surfaces.

Indépendamment de cette évolution, peu de recherches ont été consacrées au problème de l'adéquation des scènes aux calculs de radiosité. En effet, les données géométriques initiales proviennent de différentes sources :

- de modeleurs géométriques industriels, tels qu'AutoCAD ou ARC+,
- de l'analyse de plans architecturaux,
- de relevés effectués par des archéologues,
- d'une acquisition directe par scanners 3D, à base de lasers, qui fournissent un nuage de points qu'il faut ensuite trianguler.

Les données provenant de ces différentes sources sont ensuite regroupées pour former le modèle géométrique de la scène. Les modèles ainsi obtenus ne sont pas nécessairement adaptés aux calculs de radiosité : les primitives peuvent être des facettes très allongées, mais aussi des facettes concaves ou même trouées. Les modeleurs géométriques, en particulier, travaillant par CSG, fournissent souvent des surfaces polygonales complexes.

Une première solution consisterait à trianguler toutes les surfaces pour ensuite ne travailler que sur des triangles ou sur des parallélogrammes. Malheureusement, il en résulte une multiplication des surfaces initiales, rendant le modèle d'autant plus complexe au sens du nombre de surfaces. De plus, la triangulation peut faire apparaître de nouveau des triangles très allongés, qui viennent encore augmenter la complexité géométrique de la scène. Enfin, il se pose le problème de la reconstruction de la continuité de la fonction de radiosité sur toutes les facettes créées par la triangulation. L'avantage des facettes triangulaires ou quadrangulaires est qu'elles se décomposent toujours de la même manière. En conséquence, dans la méthode de radiosité hiérarchique, lors de la phase de *push-pull*[1], les coefficients utilisés pour la propagation ne dépendent pas de l'endroit où l'on se trouve dans la hiérarchie.

Une seconde solution serait de travailler avec le polygone initial, quelle que soit sa complexité. Il faut alors trouver un algorithme de subdivision général, qui puisse être appliqué à tout type de polygone. La subdivision varie alors d'un polygone à l'autre. Il faut donc recalculer les coefficients de push-pull à chaque niveau de la hiérarchie.

La solution que nous introduisons dans cet article consiste à plonger la fonction inconnue sur un support étendu, que nous nommons *pavé*. Pratiquement, nous choisissons comme pavé un parallélogramme englobant le polygone initial. Ainsi, en mode hiérarchique, l'utilisation de valeurs précalculées est à nouveau rendue possible pour le pavage régulier engendré, ce qui accélère grandement les calculs. La seule différence par rapport au cas classique apparaît lorsque la surface émet de l'énergie. Dans ce cas, il ne faut utiliser que la fraction de la fonction correspondant effectivement au support initial.

Nous avons d'autre part développé une nouvelle façon de subdiviser les mailles régulières de type triangle ou parallélogramme pour que la subdivision améliore leur rapport longueur/largeur, les rendant ainsi mieux adaptées aux calculs de radiosité hiérarchique.

2 Motivation et travaux antérieurs

La méthode de radiosité hiérarchique utilise pour chacun des objets composant la scène une représentation fonctionnelle de l'énergie lumineuse par unité de surface, la radiosité.

Le calcul de l'énergie lumineuse sur l'ensemble de la scène se fait en exprimant la loi de conservation de l'énergie : l'énergie qui part d'un point est égale à la somme de l'energie émise par ce point et de l'énergie réfléchie par ce point. L'énergie réfléchie est égale au produit de l'énergie reçue en provenance des autres points de la scène et de la réflectance au point considéré. En exprimant cette conservation au moyen de la radiosité, on obtient :

$$B(x) = E(x) + \rho(x) \int_S B(y) K(x,y) dy. \tag{1}$$

Dans le cadre de la méthode de radiosité, on se restreint aux surfaces diffuses, et la réflectance est donc indépendante de la direction d'arrivée.

Pour résoudre cette équation, on décompose la fonction de radiosité sur une série de fonctions de base :

$$B(x) = \sum_i c_i \phi_i(x).$$

L'équation de transport (1) s'exprime alors comme un ensemble de relations entre les coefficients de cette décomposition :

$$c_i = c_{i0} + \sum_j a(\phi_i, \phi_j) c_j.$$

1. La phase de push-pull permet la propagation de l'énergie reçue à différents niveaux de la hiérarchie aux autres niveaux [HSA91, Sch94].

Pour effectuer une bonne estimation de l'intégrale de l'équation 1, on utilise des quadratures, par exemple des quadratures de Gauss. Une quadrature permet d'approximer la valeur d'une intégrale par une somme pondérée :

$$H = \int_X h(x)\, dx \approx \tilde{H} = \sum_k \omega_k h(x_k),$$

où (x_k) sont les points de quadrature et (ω_k) leurs poids associés. La précision des calculs dépend du nombre de points de quadrature utilisés.

Pour utiliser ces points de quadrature et leurs poids pour des fonctions définies sur un support quelconque, il est nécessaire d'établir une correspondance entre les coordonnées tri-dimensionnelles sur ce support et les coordonnées paramétriques (u, v). On utilise pour cela les fonctions de *mapping* suivantes :

$$\begin{aligned} \psi(u,v) &= P_0 + u\vec{P_0P_1} + v\vec{P_0P_3}, \\ \psi(u,v) &= P_0 + u\vec{P_0P_1} + v\vec{P_0P_2}, \end{aligned}$$

où les points sont donnés par la figure 1.

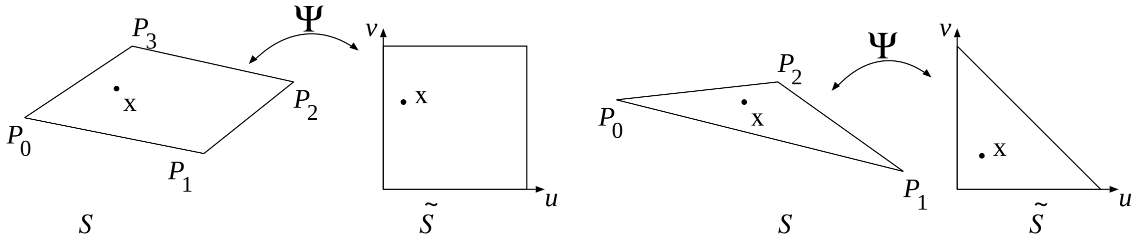


FIG. 1 – *Transformations entre les coordonnées réelles et normalisées.*

Avec ces fonctions de mapping, le calcul des coefficients $a(\phi_i, \phi_j)$ peut s'exprimer sous la forme :

$$\begin{aligned} a(\phi_i, \phi_j) &= \int_{S_1} \int_{S_2} K(x,y)\, \phi_i(x)\, \phi_j(y)\, dx\, dy, \\ &= \int_{\tilde{S}_1} \int_{\tilde{S}_2} J_1(u,v)\, J_2(s,t)\, K(\psi_1(u,v), \psi_2(s,t)) \phi_i(\psi_1(u,v))\, \phi_j(\psi_2(s,t))\, dudv\, dsdt, \end{aligned}$$

où les facteurs J_1 et J_2 sont les jacobiens des fonctions ψ_1 et ψ_2. Dans le cas présent, les jacobiens sont des constantes proportionnelles à l'aire du support. On peut donc extraire les jacobiens de l'intégrale. De plus, en travaillant sur des fonctions de base normalisées $(\tilde{\phi}_i)$, c'est-à-dire définies sur des domaines normalisés, on obtient la forme suivante :

$$a(\phi_i, \phi_j) = J_1 J_2 \int_{\tilde{S}_1} \int_{\tilde{S}_2} h(\psi_1(u,v), \psi_2(s,t))\, \tilde{\phi}_i(u,v)\, \tilde{\phi}_j(s,t)\, dudv\, dsdt.$$

Ces calculs permettent d'établir la valeur des coefficients du système d'équations qu'il faut résoudre. La résolution du système d'équation elle-même se fait suivant des méthodes itératives telles que celles décrites par [CGIB86, HSA91, Sch94].

Notre travail porte sur une extension de la fonction de mapping au cas des polygones quelconques, tels que les polygones concaves ou troués. Ces recherches sont dans la continuité du travail sur le maillage de discontinuité [LTG93, BP95].

3 Fonction de radiosité étendue

Pour pouvoir gérer des polygones complexes nous avons introduit une nouvelle façon de calculer la fonction de radiosité. Le principe consiste à étendre la fonction de radiosité sur un pavé englobant le polygone initial (figure 2). Pour étendre cette fonction on effectue les calculs de transfert énergétique comme si tous les points du pavé faisaient partie d'une surface initiale de la scène. Tous les points du pavé reçoivent donc de l'énergie. Pour évaluer cette quantité d'énergie on effectue les calculs classiques des coefficients d'interaction aussi bien sur les points situés à l'intérieur du polygone initial que sur ceux situés sur le pavé englobant mais à l'extérieur du polygone initial. La seule différence est que l'on étend la fonction de visibilité en associant à chaque point hors du polygone initial la visibilité du point le plus proche situé à l'intérieur de ce polygone.

Comme pavé on choisit le parallélogramme qui englobe tout le polygone et dont l'aire est minimale. Si plusieurs parallélogrammes répondent à ce critère on prend celui dont les angles sont les plus proches de $\pi/2$ pour éviter d'obtenir des pavés trop aplatis.

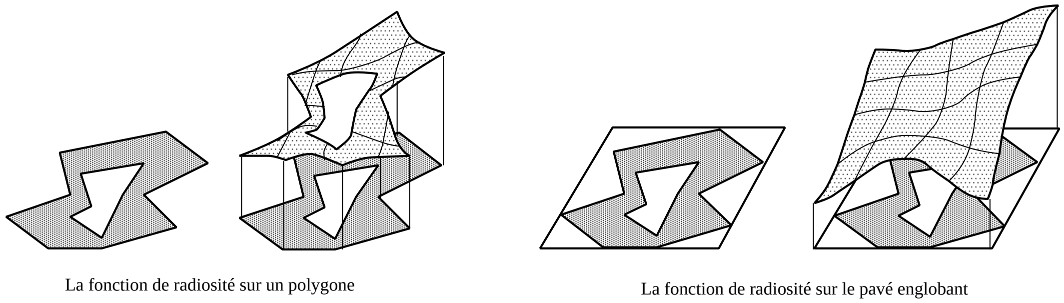


FIG. 2 – *Étendre la fonction de radiosité au pavé englobant.*

Une fois que l'on a choisi les pavés englobant, on utilise un algorithme classique pour résoudre l'équation de radiosité en calculant les interactions à partir des nouvelles mailles formées par les pavés. Les transferts d'énergie se font alors vers des parallélogrammes. Pour chaque interaction on fait comme si tout le pavé correspondant au récepteur recevait de l'énergie. On peut noter ici que la fonction stockée sur le pavé représente une quantité d'énergie supérieure à l'énergie réellement reçue sur le polygone initial. Pour prendre en compte ce phénomène, on fait attention à n'utiliser que la fraction de la fonction qui correspond réellement à la maille initiale lorsqu'on émet de l'énergie. On évite ainsi de propager le surplus de l'énergie au fil des itérations.

D'autre part, il faut aussi faire attention si l'on considère les pavés englobants en tant que primitives géométriques pour le calcul de la visibilité. En effet, un rayon entre deux points de la scène peut être intercepté par un pavé et pourtant ne pas être arrêté par le polygone initial correspondant. Les structures décrivant les pavés dans le programme doivent donc avoir une fonction qui indique si un point du pavé est ou n'est pas à l'intérieur du polygone correspondant.

Voyons maintenant plus précisément comment on opère et quels sont les avantages de cette méthode dans le cas des approches hiérarchiques à base d'ondelettes.

Le premier point à souligner est que lors du découpage hiérarchique d'un pavé, des mailles particulières peuvent apparaître. Comme le montre la figure 3 on peut obtenir des mailles vides et des mailles pour lesquelles le pavé englobant correspond exactement au polygone initial. Dans le premier cas il ne faudra pas prendre en compte ces mailles pour l'émission et dans le deuxième cas on peut utiliser l'implantation des parallélogrammes classiques pour poursuivre les calculs.

Les méthodes à base d'ondelettes consistent à considérer la fonction de radiosité sur chaque maille avec plusieurs niveaux de détail (classiquement on découpe la maille suivant un quadtree et chaque niveau du quadtree permet d'affiner la représentation de la fonction par rapport au niveau supérieur). Les interactions entre les mailles de la scène sont ensuite calculées aux niveaux de représentation les plus élevés possibles tout en respectant un critère de qualité. On minimise ainsi le nombre d'interactions à calculer.

Quand une surface doit réfléchir l'énergie qu'elle a reçue à différents niveaux de représentation vers une autre surface tous ses niveaux de représentation doivent être cohérents. On utilise alors des coefficients de push-pull pour faire descendre toute l'énergie jusqu'aux feuilles de l'arbre

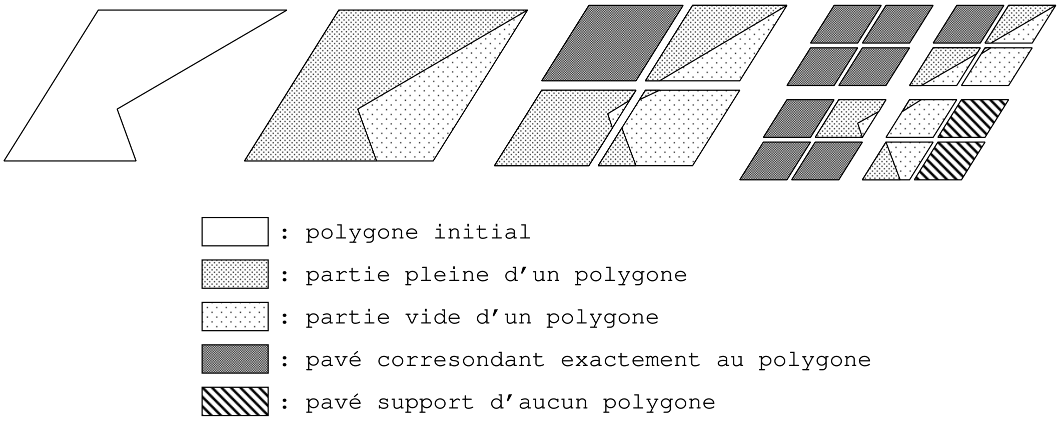


FIG. 3 – *Exemple de maillage d'un polygone concave.*

hiérarchique et la faire remonter de façon cohérente.

Il est alors très intéressant d'utiliser des supports réguliers de type parallélogramme ou triangle pour la fonction de radiosité car les coefficients de push-pull sur ce type de support sont les mêmes à tous les niveaux. Ils peuvent donc être calculés une fois pour toute et réutilisés tout au long du déroulement de l'algorithme de résolution. En étendant la fonction de radiosité au parallélogramme englobant, on évite donc de calculer ces coefficients à tous les niveaux de représentation.

Un autre avantage de cette extension est que le découpage d'un polygone devient beaucoup plus naturel. On utilise, en effet, un quadtree classique qui génère à chaque niveau quatre nouveaux parallélogrammes que l'on peut traiter exactement de la même façon que le pavé initial. On n'est plus obligé de chercher un découpage efficace du polygone ni de considérer individuellement tous les polygones créés à chaque niveau.

4 Algorithmes de subdivision

La subdivision d'un support pour établir le maillage de niveau plus bas est toujours basée sur le *pavé* correspondant au support. Du coup, les subdivisions ne sont effectuées que sur deux formes géométriques, les triangles et les parallélogrammes.

Classiquement, les algorithmes de subdivision découpent une maille en quatre : un parallélogramme est réduit en quatre parallélogrammes identiques, et les triangles sont divisés en trois triangles identiques plus un triangle obtenu par symétrie (figure 4). Comme nous allons le voir

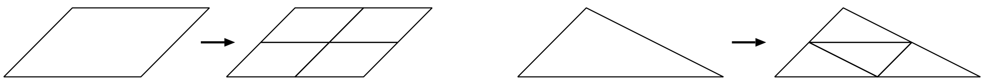


FIG. 4 – *Découpe standard d'un parallélogramme et d'un triangle.*

ci-dessous, cette approche n'est pas idéale pour faire une approximation de la fonction inconnue. Le problème vient du fait que les mailles filles sont toujours semblables aux mailles mères.

Dans le cas des parallélogrammes, il en résulte que toutes les subdivisions d'une maille très allongée gardent ces même proportions. Il y a donc beaucoup de chances que la valeur de la fonction inconnue varie de manière importante le long du grand coté du parallélogramme. Il en résulte une subdivision excessive du parallélogramme, donnant naissance à un maillage peu adapté pour approcher la fonction.

Nous avons introduit un algorithme de subdivision des parallélogrammes qui tend à faire disparaître ce problème. La découpe est illustrée par la figure 5. En effet, lorsque le parallélogramme est trop allongé (ce qui correspond à un rapport supérieur à 2 entre les côtés long et court), nous le découpons en quatre tranches. Cette approche tend à réduire le rapport, et produit donc un maillage plus apte à approcher efficacement la fonction.

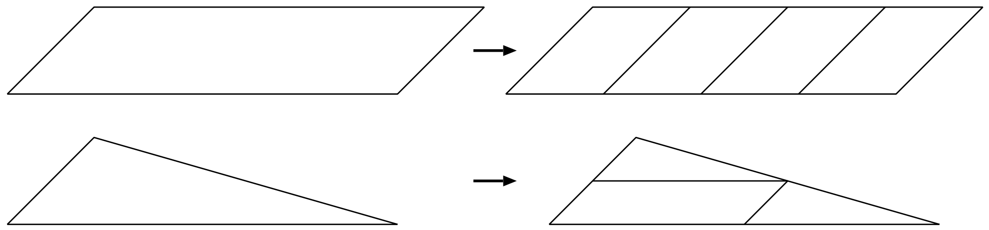


FIG. 5 – *Découpe non standard d'un parallélogramme et d'un triangle.*

Par ailleurs, en ce qui concerne les triangles, certaines améliorations concernant la subdivision peuvent aussi être faites. En fait, il est plus facile de trouver des points de quadrature pertinents sur un parallélogramme que sur un triangle. Il en résulte qu'avec des parallélogrammes les approximations de la fonction inconnue sont meilleures, ce qui rend les calculs plus performants tout en créant moins de subdivisions.

Nous avons donc choisi de subdiviser un triangle en deux triangles semblables et un parallélogramme. Ceci procure deux avantages : d'une part nous bénéficions de calculs plus exacts au niveau inférieur, et d'autre part, si le triangle est très allongé, nous profitons de l'avantage des parallélogrammes pour lesquels nous savons réduire l'aspect étiré des sous-mailles.

5 Résultats

Nous présentons maintenant les résultats obtenus avec ces deux modifications sur des scènes de test issues d'applications industrielles.

5.1 Scènes de test

Trois scènes ont été utilisées pour effectuer nos tests.

L'**Opéra de Lorraine**, sur la Place Stanislas à Nancy, a été modélisé récemment pour pouvoir simuler de nouveaux projets d'éclairage lors du renouvellement de l'illumination de la place. Le modèle géométrique a été réalisé avec un modeleur du commerce (Arc+), par les techniciens de la ville de Nancy. La modélisation a été faite à partir de relevés architecturaux divers. Le résultat est une scène détaillée représentant fidèlement la réalité. Elle est composée de 34 614 surfaces initiales.

La **tholos de Delphes** est un des trois temples circulaires recensés actuellement dans le monde. Il fait partie du sanctuaire de Marmaria, sur le site archéologique de Delphes. Ce temple et les autres bâtiments du sanctuaire, tous détruits, ont été modélisés en vue de la restitution du sanctuaire en synthèse d'image. La tholos a elle aussi été modélisée avec un modeleur du commerce, PDMS, à partir des relevés effectués par les archéologues. De plus, certains détails du bas-relief et quelques sculptures ont été acquis à l'aide d'un capteur laser. La scène totale contient environ 913 000 surfaces. Cette complexité rend actuellement son utilisation en radiosité impossible. Nous utilisons donc une base de données simplifiée et partielle de la tholos pour nos tests. Cette base est composée majoritairement de polygones qui ne sont pas des parallélogrammes. Parmi les 7 778 surfaces initiales, 4 512 sont des polygones complexes, 2 099 des parallélogrammes et 1 167 des triangles.

Le **Soda Hall** est un bâtiment de l'université de Berkeley. Nous avons récupéré la scène sous format VRML[2]. Pour nos tests, nous nous sommes limités à une seule pièce du 6$^{\text{ème}}$ étage. Nous

2. L'adresse web est `http://www.cs.berkeley.edu/~kofler/`

avons par ailleurs fait les calculs sur l'ensemble de cet étage, mobilier compris, pour un total de 144 255 surfaces initiales [CAP98].

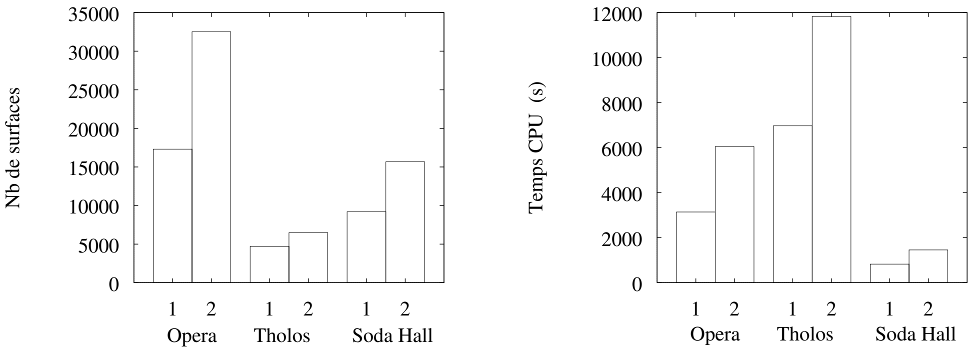
Les exemples des maillages produits par les différentes méthodes proviennent de la simulation de l'étage de l'Opéra. Il s'agit de la zone de maillage située près d'une fenêtre du premier étage (images 6 (a) et 6 (b)).

(a) Premier étage de l'Opéra de Nancy.

(b) Fenêtre du premier étage.

IMG. 6 – *Localisation des exemples de maillage.*

5.2 Utilisation des polygones



(a) Nombre de surfaces initiales.

(b) Temps CPU.

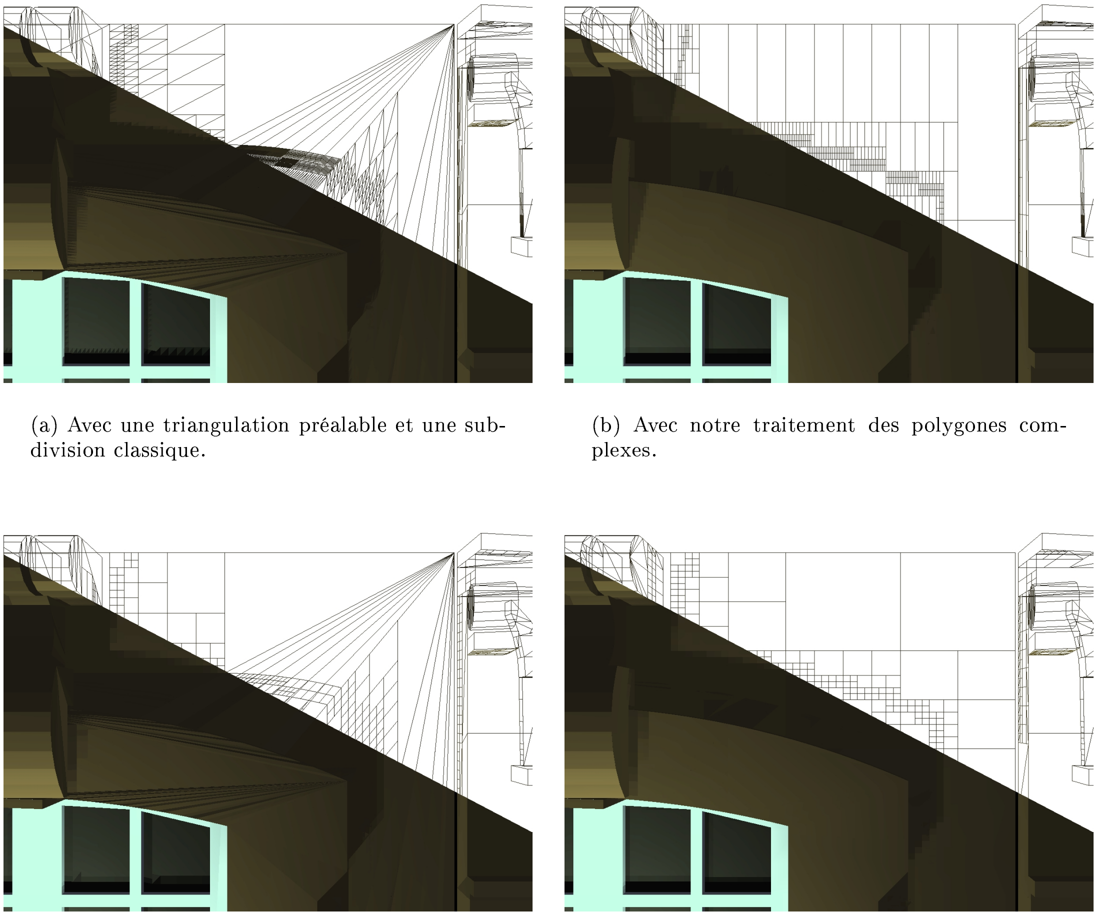
FIG. 7 – *Traitement des polygones complexes, 1) sans triangulation, 2) avec triangulation.*

Comme on peut le voir dans la figure 7 (a), le fait de trianguler les surfaces initiales[3] augmente leur nombre de 38% pour la tholos, de 71% pour le Soda Hall et de 88% pour l'Opéra de Nancy.

Les figures 8 (a) et 8 (b) nous permettent d'apprécier le maillage créé par notre façon de traiter les polygones complexes. Nous pouvons remarquer, sur la figure 8 (a), que des triangulations simples peuvent engendrer de nombreux triangles très allongés. Bien que les subdivisions semblent bien suivre l'ombre de la fenêtre sur la partie gauche de la figure, ce n'est pas le cas sur la partie droite. Cela est dû à l'algorithme de triangulation qui s'appuie sur un des sommets des polygones. En revanche, notre approche génère un maillage régulier, plus apte à faire une approximation de la fonction de radiosité (figure 8 (b)).

La fonction de radiosité représentée sur l'image 8 (a) a quelques défauts. Nous remarquons des traits noirs sur la partie du bâtiment entourant la fenêtre. Ils sont dus aux triangles très allongés qui posent des problèmes pour les calculs de visibilité. D'autre part, l'ombre projetée sur le carreau droit de la fenêtre est fortement crénelée, à cause de la triangulation initiale de la fenêtre. Ces problèmes n'apparaissent pas sur l'image 8 (b).

3. Nous n'avons évidemment pas triangulé les quadrilatères



(a) Avec une triangulation préalable et une subdivision classique.

(b) Avec notre traitement des polygones complexes.

(c) Avec subdivision adaptative.

(d) Avec nos deux approches combinées.

FIG. 8 – *Exemples de maillage et solution de radiosité.*

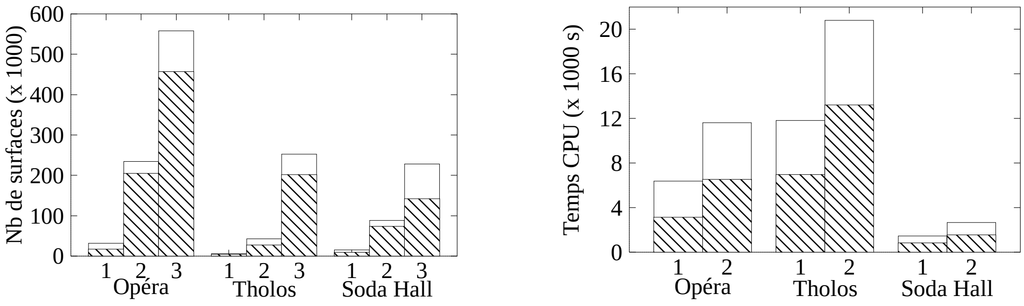
Les calculs sur les bases de données triangulées sont de 70% à 104% plus longs qu'avec notre gestion des fonctions de base de type ondelettes sur les polygones initiaux (figure 7 (b)). De plus nos résultats sont plus satisfaisants visuellement. Dans tous nos tests, la proportion de temps gagné est supérieure à la proportion du nombre de surfaces. Ce résultat est encourageant et démontre l'efficacité de notre approche.

5.3 Subdivision non standard

Comme on peut le voir sur la figure 9 (a), la nouvelle façon de subdiviser les mailles permet de diminuer le nombre final de mailles d'environ 60% pour l'Opéra de Nancy et le Soda Hall. En ce qui concerne la tholos de Delphes, le gain est de 85%. La raison est la nature cylindrique de nombreux éléments de la scène. Ils sont donc modélisés par de nombreux rectangles très allongés, pour lesquels notre approche est particulièrement bien adaptée.

Les gains de temps se situent entre 43% et 52% (figure 9 (b)). Nous remarquons que lorsque les scènes sont triangulées, le gain de temps est moins bon que le gain en nombre de surfaces. Cela peut s'expliquer par le fait que le nombre de points de quadrature pour calculer le noyau est plus petit pour les triangles que pour les parallélogrammes.

Les figures 8 (a) et 8 (c) illustrent, pour la scène triangulée, la différence de maillage entre la subdivision classique et notre subdivision adaptative. Notre approche permet de générer bien



(a) Nombre de : 1) surfaces initiales, 2) mailles finales avec la décomposition adaptative, 3) mailles finales avec la décomposition classique.

(b) Temps CPU avec : 1) une décomposition adaptative, 2) une décomposition classique.

FIG. 9 – *Effets de la décomposition standard (blanc) ou adaptative (hachuré) des surfaces.*

moins de mailles, et tend à faire disparaître les mailles très allongées.

La différence entre ces deux maillages se voit aussi sur la fonction de radiosité. La subdivision adaptative ne peut pas résoudre le problème des triangles initialement très allongés. Par contre, les ombres portées sur les vitres sont bien meilleures.

Cette alternative permet elle aussi un gain certain en temps de calcul, ainsi qu'en nombre de surfaces et donc en place mémoire.

5.4 Combinaison des deux approches

Ces deux améliorations des algorithmes de gestion des supports des fonctions de base peuvent être combinées, pour cumuler dans une certaine mesure leurs avantages.

L'association du traitement des polygones complexes et d'une subdivision adaptative des triangles et des parallélogrammes donne des résultats intéressants.

En ce qui concerne le nombre final de mailles, et donc aussi la mémoire, les gains vont de 63% pour l'Opéra de Nancy à 68% pour le Soda Hall, pour atteindre 89% pour la tholos de Delphes. Parallèlement, les temps de calcul chutent respectivement de 73%, 69% et 66% (figure 9 (a) et 9 (b)).

La comparaison des figures 8 (a) et 8 (d) souligne bien la différence de maillage obtenue par les deux approches. Notre solution donne un maillage plus régulier, et mieux réparti sur la surface initiale. Cela permet de mieux répartir les efforts de calcul.

La qualité de la solution de radiosité de l'image 8 (d) est visuellement la même que celle de l'image 8 (b). Seul le nombre de mailles diffère entre ces deux solutions.

6 Conclusion et recherches futures

Nous avons développé une méthode permettant d'accélérer les calculs de radiosité lorsqu'ils sont effectués sur des facettes polygonales complexes, telles que des polygones concaves ou des polygones troués. De tels polygones sont fréquemment présents dans les scènes issues de modeleurs géométriques du commerce. Notre méthode permet de traiter ces polygones sans pré-traitement et sans augmenter le nombre de surfaces initiales. Les résultats expérimentaux montrent que notre méthode permet une diminution sensible du temps de calcul et de l'espace mémoire sur ce genre de scènes, rendant par là-même possibles les calculs sur des scènes plus complexes.

Nous avons également développé deux nouveaux algorithmes de subdivision des quadrilatères et des triangles. Ces algorithmes permettent d'améliorer le rapport longueur/largeur des polygones présents dans la scène au fur et à mesure de leur raffinement. De la sorte, nous évitons les subdivisions inutiles, et nous réduisons le nombre final de facettes. Les résultats expérimentaux montrent encore une amélioration sensible sur le plan de la mémoire et du temps de calcul. Nos deux algorithmes peuvent être combinés ensemble pour des gains encore plus élevés.

Notre amélioration de la gestion des surfaces augmente nettement les performances de l'algorithme de radiosité à base d'ondelettes. Bien que ne modifiant pas la complexité générale de l'algorithme de résolution, cela permet de le rendre plus efficace, et par la même, plus apte à être utilisé dans des conditions limites.

Les recherches futures porteront le portage de ces méthodes à des objets complexes qui ne sont pas plans, tels que des cylindres, des sphères ou des cônes. Ceci impliquera de ré-intégrer le jacobien dans l'intégrale de calcul des coefficients $a(\phi_i, \phi_j)$.

D'autre part, dans la prolongement de nos recherches sur la subdivision adaptative, nous envisageons d'étendre notre algorithme au cas du maillage de discontinuité, au moins pour les discontinuités C^0. Dans ce cas, le problème sera de maintenir la cohérence de la représentation en ondelettes malgré le changement de forme géométrique du support.

Références

[BP95] K. Bouatouch and Sumanta N. Pattanaik. Discontinuity Meshing and Hierarchical Multiwavelet Radiosity. In W. A. Davis and P. Prusinkiewicz, editors, *Proceedings of Graphics Interface '95*, pages 109–115, San Francisco, CA, May 1995. Morgan Kaufmann.

[CAP98] Xavier Cavin, Laurent Alonso, and Jean-Claude Paul. Parallel Wavelet Radiosity. In *Proceedings of the Second Eurographics Workshop on Parallel Graphics and Visualisation*, Rennes, France, September 1998. Eurographics.

[CGIB86] Michael Cohen, Donald P. Greenberg, Dave S. Immel, and Philip J. Brock. An Efficient Radiosity Approach for Realistic Image Synthesis. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 6(3):26–35, March 1986.

[GSCH93] Steven J. Gortler, Peter Schroder, Michael F. Cohen, and Pat Hanrahan. Wavelet Radiosity. In *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1993 (ACM SIGGRAPH '93 Proceedings)*, pages 221–230, 1993.

[GTGB84] Cindy M. Goral, Kenneth E. Torrance, Donald P. Greenberg, and Bennett Battaile. Modelling the Interaction of Light Between Diffuse Surfaces. In *Computer Graphics (ACM SIGGRAPH '84 Proceedings)*, volume 18, pages 212–222, July 1984.

[HSA91] Pat Hanrahan, David Salzman, and Larry Aupperle. A Rapid Hierarchical Radiosity Algorithm. In *Computer Graphics (ACM SIGGRAPH '91 Proceedings)*, volume 25, pages 197–206, July 1991.

[LTG93] Daniel Lischinski, Filippo Tampieri, and Donald P. Greenberg. Combining Hierarchical Radiosity and Discontinuity Meshing. In *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1993 (ACM SIGGRAPH '93 Proceedings)*, pages 199–208, 1993.

[SAG94] Brian Smits, James Arvo, and Donald Greenberg. A Clustering Algorithm for Radiosity in Complex Environments. In *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1994 (ACM SIGGRAPH '94 Proceedings)*, pages 435–442, 1994.

[Sch94] Peter Schroder. *Wavelet Algorithms for Illumination Computations.* Ph.D. thesis, Technical Report, Department of Computer Science, Princeton University, Princeton, NJ, November 1994.