

ModLum : Outil d'aide à la conception de projets d'illumination

Christine Chevrier

1. Introduction

La simulation des phénomènes lumineux est, à plusieurs niveaux, d'une importance capitale pour le projet d'architecture et les édifices architecturaux : tant au niveau de la conception, où les outils de simulation devraient permettre d'assister efficacement le concepteur dans ses recherches, qu'au niveau de la communication, de manière à fournir des informations fiables et réalistes aux décideurs et au grand public. Or, l'un des problèmes les plus ardues rencontrés est l'extrême difficulté à représenter de manière réaliste un projet d'illumination conformément à la réalité physique des propriétés photométriques et colorimétriques de la lumière et des caractéristiques des matériaux. L'expérience montre que la réussite d'une simulation par des logiciels photo-réalistes (par exemple Candela développé par l'équipe ISA du LORIA [Merzouk98]) repose essentiellement sur la qualité du choix des caractéristiques des sources lumineuses et sur leur positionnement correct dans le projet.

L'étape de modélisation lumineuse oblige à de nombreux réglages engendrant des calculs intermédiaires, et s'avère de ce fait très coûteuse en temps. Il est donc nécessaire d'établir une méthode de travail visant à améliorer l'étape de préparation des simulations d'illumination sur des édifices. Une bonne interactivité pendant cette étape de conception étant le gage de l'amélioration des résultats finaux, la mise en œuvre d'outils ergonomiques doit être le fil conducteur du développement.

Cet article présente dans la *deuxième* partie les spécificités des projets d'illumination et les difficultés de leur mise en œuvre. Nous présentons également dans cette partie les raisons qui nous ont conduit à la nécessité de disposer d'autres outils de conception lumineuse. Dans la *troisième* partie, nous présentons l'outil **ModLum** que nous avons développé afin de répondre à ce problème en facilitant le positionnement et la gestion de sources lumineuses dans un projet d'illumination.

2. Architecture et éclairagisme

2.1. Spécificités

*« Naturelle ou artificielle, la lumière est matière »
Paul Andreu, Architecte.*

Au même titre que la pierre, le béton ou le verre, la lumière fait partie intégrante de l'architecture. La lumière est une composante essentielle d'un projet architectural. Le résultat est souvent magique. Il n'en demeure pas moins que son ordonnancement nécessite des compositions astucieuses, des choix judicieux, des études précises. Du choix des effets lumière dépend la mise en valeur des volumes et des espaces, leur lecture et leur compréhension. Aujourd'hui, l'amélioration des performances des lampes et des luminaires et la grande diversité des produits constituent autant d'éléments de réponse aux demandes les plus exigeantes.

*Les éclairages sont l'expression d'une mentalité ou d'une culture de l'occupant. C'est pour cela que l'éclairage est communication.
Louis Bachoud, ingénieur urbaniste.*

La réalisation d'ambiances lumineuses est une tâche complexe, qui nécessite de prendre en compte des considérations non seulement d'ordres architectural (organisation des masses et volumes) et lumineux (répartition des zones d'ombre et de lumière, phénomènes d'éblouissement) mais également d'ordres physique (mélanges de chromaticité des sources, inter-réflexions lumineuses, reflets et transparence) et technique (position et fixation des sources, puissances requises). Ces projets de mise en lumière interviennent souvent *a posteriori*, une fois les choix architecturaux définis (volumes, géométrie, gamme de matériaux). Or si l'on juge important que les architectes et les éclairagistes travaillent ensemble lors des phases de conception, il est indispensable de leur fournir des instruments capables de simuler rapidement et de manière fiable des ambiances lumineuses en phase de conception.

Pour simuler et visualiser de façon réaliste les effets lumineux recherchés par les concepteurs, les propriétés radiatives des sources lumineuses et des surfaces du modèle architectural doivent être décrites avec précision. Des modèles mathématiques permettent d'obtenir des représentations très précises des sources lumineuses et des mélanges de chromaticité obtenus. Pour le calcul de la propagation de la lumière, de ses nombreuses interréflexions, la méthode dite de radiosité permet d'obtenir des résultats précis (Logiciel Candela, ISA Loria [Merzouk98, ChevrierBP99]). Les résultats de ces recherches et l'utilisation de Candela et de ses prédécesseurs sur de très nombreux projets (Cour carrée du Louvre [Fasse96], Place Stanislas, ponts historiques de Paris, Institut de France, Grande Mosquée de Kairouan [ChevrierBP99] [Bur01], Cloîtres Saint-Jean à Quito, etc) nous ont permis de montrer que les techniques de synthèse d'images étaient très prometteuses dans le cas des études de mise en lumière sur des bâtiments existants.

Nos travaux de simulation d'illumination ont porté et portent essentiellement sur des monuments historiques dont les principales caractéristiques sont :

- d'être représentés par de très grandes bases de données,
- et d'être éclairés par de très nombreuses sources lumineuses.

La simulation de l'illumination de la Cour carrée du Louvre par exemple a nécessité plus de 400 000 polygones et le positionnement de plusieurs centaines sources lumineuses. Premier projet d'une longue série, il a nécessité de nombreux tests et modifications.

La simulation de plusieurs projets (hypothèses) de mise en lumière, comme tel était le cas pour les ponts de Paris ou la Place Stanislas à Nancy, s'est révélée une aide précieuse à la décision (choix) pour les commanditaires (Mairies de Paris et de Nancy, ou autre). En effet, il est très difficile, voire impossible, pour un non spécialiste de la lumière, d'imaginer ce que pourra donner l'éclairage d'un monument à partir des plans fournis par les concepteurs-lumière ; ces plans ne contiennent que les descriptions des sources, leur position et leur direction d'éclairage, complétés quelquefois par des dessins aux qualités artistiques certaines mais au réalisme quelquefois incertain.

D'autre part, de telles simulations informatiques sont souvent moins onéreuses que des tests *in situ* (échafaudages, montage et démontage des sources ...).

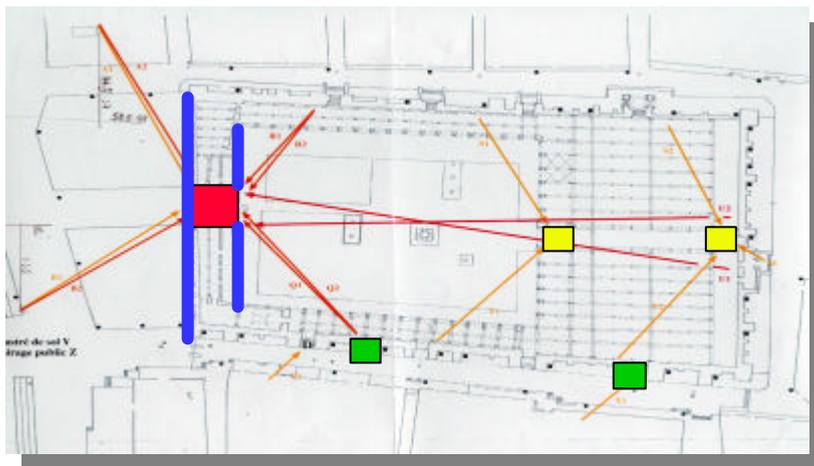


Figure 1 : Exemple de document du projet d'éclairage de la Grande Mosquée de Kairouan.

2.2. Difficulté de mise en oeuvre

Une particularité de ces projets est le nombre important de sources lumineuses à positionner dans l'espace 3D. Actuellement, il n'existe aucun modéleur spécifique à la manipulation de sources telles qu'elles sont considérées dans les logiciels de radiosité, c'est-à-dire prenant en compte les caractéristiques physiques de la lumière.

L'essentiel des définitions des paramètres de l'éclairage est effectué par le biais de fichiers de descriptions, uniques interfaces entre l'utilisateur et le programme de calcul d'images, offrant peu d'ergonomie. Cette tâche demandait beaucoup de temps et la modification d'une ou plusieurs sources était fastidieuse (trouver la source dans le fichier).

Par ailleurs, les simulations d'éclairages effectuées jusqu'à présent par notre équipe ont permis de montrer la corrélation étroite entre composition architecturale et composition lumineuse basée sur des notions géométriques telles que symétrie, translation, rotation, etc. L'introduction du concept de réseau de sources (ensemble de sources ayant les mêmes caractéristiques et pouvant être modifiées globalement) associé aux éléments architecturaux devrait faciliter la conception des projets.

Tiré du fascicule EDF, « Eclairage et architecture » :

Il n'existe pas encore de logiciel idéal en éclairagisme. Il n'existe pas non plus de didacticiel permettant de faire l'économie d'une formation sérieuse à l'éclairagisme. Les outils informatiques disponibles aujourd'hui reflètent l'hétérogénéité des désirs et des besoins des professions concernées par l'éclairage. Aucun produit public ne permet de prendre en compte les multiples critères mis en jeu dans un projet d'éclairage complexe.

2.3. But

A partir de ces constatations, nous avons décidé de développer un outil interactif baptisé ModLum de placement de sources lumineuses dans une scène 3D et ceci afin de :

- gagner du temps lors de la création et de la manipulation des sources,
- simplifier la gestion de ces sources,
- exporter les sources sous divers formats de fichier afin d'utiliser le logiciel de simulation désiré (Candela, Lightscape, ...)

3. ModLum

3.1. Spécifications

L'outil devra disposer d'opérations de placement et d'orientation interactives et automatiques de sources, en relation à des éléments architecturaux, sous forme de liens associant la source (ou le réseau de sources) aux éléments éclairés. Il devra permettre à l'utilisateur de manipuler les sources, tout en visualisant en temps réel leur effet sur la géométrie, ce qui pourra également conférer au programme un rôle d'aide à la décision et un rôle d'expérimentation d'éclairage. Une représentation abstraite de la scène sous la forme d'une arborescence correspondant à l'organisation hiérarchique des primitives géométriques (sources et objets) composant la scène sera proposée.

L'interface devra faciliter les opérations d'adjonction, de suppression et de modification de sources ; de plus, elle offrira des possibilités de pré-positionnement précis par rapport aux composants architecturaux, remédiant en cela au principal défaut d'une solution entièrement interactive. L'utilisateur pourra ajuster une source et modifier ses caractéristiques de manière plus précise au clavier.

3.2. Principe

3.2.1. Attachement composant – lumière

Une bonne organisation hiérarchique permet un repérage aisé et une gestion facilitée des éléments de manière sémantique.

Les réseaux dits « implicites » exploitent les répétitions géométriques inhérentes au modèle. Lorsqu'un édifice a été modélisé de façon hiérarchique et modulaire, son modèle présente l'avantage de ne décrire qu'une fois les éléments répétés, l'ensemble de la géométrie étant ensuite obtenu par transformation et réutilisation de modules. L'affectation d'une source (ou d'un réseau) à un élément affecte automatiquement la même source (ou le même réseau) à toutes les instances de ce module (tous les mêmes éléments répétés). Toute modification de la source ou du réseau est répercutée sur les instances associées. On appelle ces réseaux particuliers des « réseaux implicites » de sources ou de réseaux.



Figure 2: L'affectation d'un réseau circulaire à l'une des colonnes a créé un deuxième réseau identique sur la deuxième colonne.

3.2.2. Se repérer facilement dans la scène

Les composants de la scène peuvent être sélectionnés de deux manières : soit dans la représentation architecturale de la scène, soit dans le graphe hiérarchique de la scène. La sélection dans la scène est mise en évidence par la boîte englobante du composant. On peut sélectionner uniquement de la géométrie (feuilles de la hiérarchie); on ne peut pas sélectionner de nœud intermédiaire. Pour cela il faut utiliser le graphe de la scène et sélectionner le groupe (nœud intermédiaire) désiré. Les branches du graphe se développent ou se referment automatiquement au fur et à mesure des besoins, afin d'avoir toujours une représentation lisible.

La sélection dans la scène ou dans son graphe permet un repérage simple et efficace des objets.

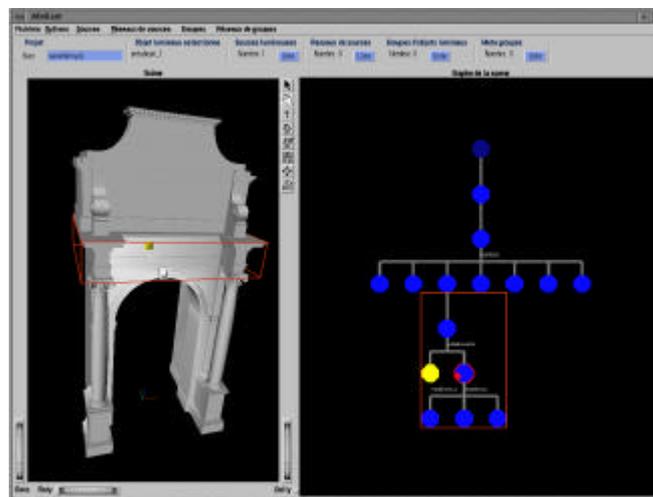


Figure 3 : L'objet sélectionné est repéré dans la scène et dans le graphe.

3.2.3. Pré-visualisation simple

Une pré-visualisation simple de l'effet de la source lumineuse sur le composant permet d'apprécier rapidement le résultat : ce calcul est fait en temps réel avec un modèle d'illumination local, sur des surfaces dont les matériaux sont estimés par des couleurs. L'effet lumineux ne correspond pas à ce que l'on obtiendra (avec les calculs de radiosité) mais permet néanmoins de juger la zone d'impact de la source.

3.3. Fonctionnalités des objets lumineux

Nous avons défini 4 types d'objets lumineux. En voici la liste et leur spécificités :

3.3.1. Source lumineuse

Une source est définie par ses caractéristiques : position, mire, type de source, intensité. Un solide photométrique et un spectre permettent de définir un type de source. Les types de sources forment une bibliothèque, extensible par création de nouveaux types de sources dans le logiciel.

Une source est associée à un composant architectural de la scène : soit un élément final (nœud de l'arbre) ou à un groupe d'éléments (nœud intermédiaire de l'arbre).

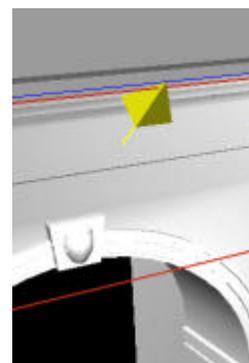


Figure 4 : Une source lumineuse et son effet sur la scène.

3.3.2. Réseaux de sources

Un réseau est une organisation linéaire ou polaire de sources, permettant des manipulations simultanées (placement, orientation) sur l'ensemble des sources le composant.

Un réseau de sources est caractérisé par une source principale, un vecteur permettant de définir une longueur et une direction (pour un réseau linéaire) ou un axe (pour un réseau polaire) pour le premier sous-réseau, du nombre de sources formant le premier sous-réseau, d'un deuxième vecteur (définissant direction et longueur des sous-réseaux composant le réseau) ainsi que du nombre de sous-réseaux à créer. Un réseau peut être évidemment composé d'un seul sous-réseau. Un réseau est créé à partir d'une source et est attaché au même composant que la source.

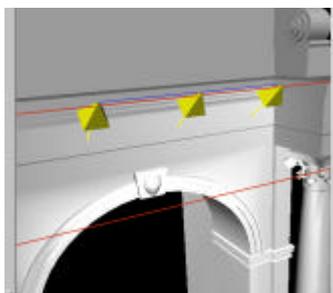


Figure 5 : Un exemple de réseau linéaire

Les sources d'un réseau peuvent être soit liées entre elles (les caractéristiques des sources dépendent des caractéristiques de la première source ; une modification de cette source modifie automatiquement l'ensemble des sources du réseau), soit indépendantes les unes des autres (elles sont créées avec les mêmes caractéristiques que la première source, mais peuvent ensuite être modifiées de manière indépendante les unes des autres).

Une source peut être ôtée (détruite) du réseau (repérage par son indice) si besoin. Une source peut également être extraite du réseau : elle ne fait plus partie du réseau mais existe encore, elle devient une source indépendante et peut être gérée comme toute autre source.

Certains modèles géométriques ne sont pas organisés de façon modulaire. On veut par exemple éclairer les fenêtres d'une façade, mais ces fenêtres ne sont pas décrites isolément des autres parties de la façade. L'édifice présente pourtant des similitudes, des répétitions que l'on ne peut exploiter. Du fait de cette absence de conception hiérarchique et modulaire, on peut créer un réseau associé à l'ensemble du modèle (la façade), chaque source éclairant un élément répétitif (une fenêtre).

3.3.3. Groupe d'objets lumineux

Un groupe est un ensemble d'objets lumineux (sources, réseaux de sources ou même un groupe). Ces objets lumineux ne sont pas forcément attachés au même objet architectural. Un groupe permet donc de «regrouper» des objets lumineux attachés à des éléments architecturaux différents. On peut ajouter ou supprimer des éléments d'un groupe. Un groupe n'est lui-même attaché à aucun composant de la scène ; il ne dispose donc pas de représentation ni dans le graphe, ni dans la scène, si ce n'est la représentation de chacun des objets lumineux qui le composent.

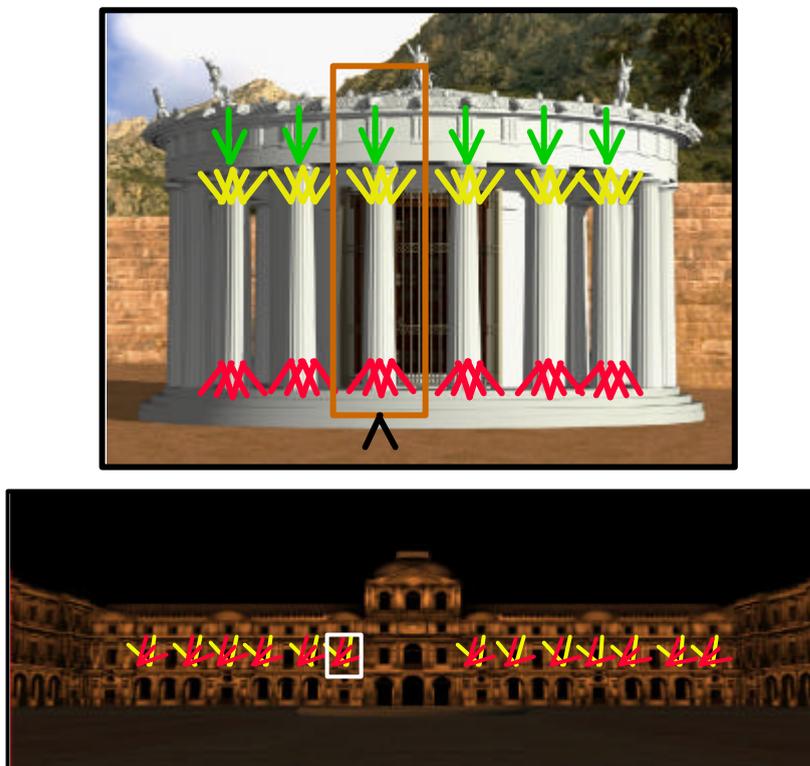


Figure 6 : Exemples de groupes que l'on a dupliqué par rotation (La Tholos à Marmaria) et translation (Le Louvre à Paris).

3.3.4. Réseaux de groupes

L'intérêt d'un groupe est de pouvoir faire une duplication rapide de chacun des éléments qui le composent. Une duplication de groupe crée un réseau de groupes. Un tel réseau est caractérisé par une liste de transformations (translation, rotation, changement d'échelle) et de nombres de groupes copiés par transformation. Cela laisse une très grande souplesse dans les possibilités. De même que pour les sources dans un réseau de sources, les groupes d'un réseau de groupe peuvent être indépendants entre eux ou non.

3.3.5. Gestion des objets lumineux

A chacun des objets lumineux présentés ci-dessus est associé un ensemble d'actions de gestion : **création, modification, copie et suppression**.

3.4. Description de l'interface graphique

3.4.1. Création des objets lumineux

Les boîtes de dialogue pour la création des sources lumineuses et des réseaux de sources sont présentées *Figure 7*.

Le principe est d'utiliser la boîte englobant l'objet (ou le groupe d'objets) sélectionné. Cette boîte est ensuite découpée selon les 3 axes principaux en un certain nombre de subdivisions, nombre choisi par l'utilisateur. On obtient ainsi une grille en 3D dont les intersections sont matérialisées par un petit cube. La boîte englobante peut subir un décalage selon les 3 axes (vecteur translation) car on sait que les sources sont souvent décalées (par rapport aux murs de la façade par exemple).

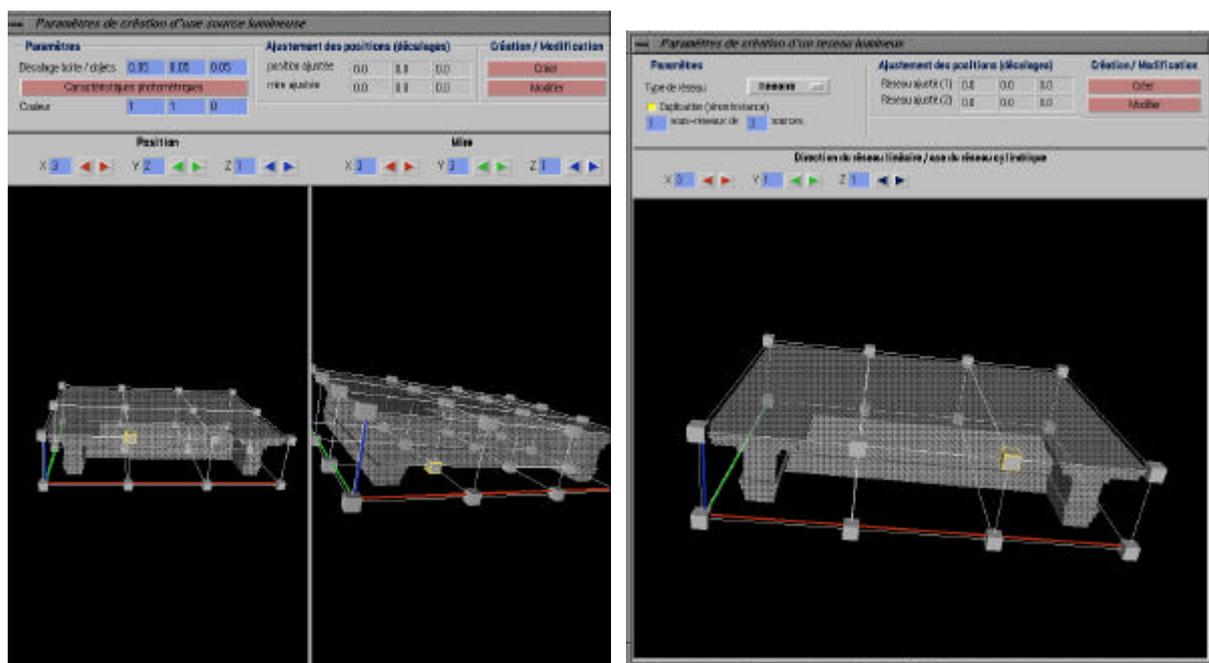


Figure 7 : Boîte de dialogue pour la création des sources et des réseaux de sources

La position de la source est désignée en sélectionnant un cube sur la grille. Il en est de même pour sélectionner la mire (dans une deuxième fenêtre pour avoir des paramètres de subdivision spécifiques à la mire). Ces coordonnées (position et mire de la source) peuvent être encore ajustées (2 vecteurs translations : un pour la position et un pour la mire). Cela est très utile par exemple dans le cas d'une mire dont on connaît la position par rapport à la position de la source et non par rapport à la boîte englobante.

On choisit également un nom pour la source, une couleur de représentation dans la scène pour un repérage plus facile entre les différents objets lumineux, et enfin un type de source (caractéristiques photométriques, voir § 3.4.3).

En ce qui concerne le réseau de sources, on choisit le type de réseau (circulaire ou linéaire), la dépendance ou l'indépendance des sources entre elles, le nombre de sous-réseaux dans le réseau et le nombre de sources dans les sous-réseaux. De la même manière que pour la position d'une source, on sélectionne un ou deux points sur la grille englobant l'objet : un premier point correspond au point extrémité du premier sous-réseau (le point origine étant la position de la source à partir de laquelle on construit le réseau) et un deuxième point indiquant la position origine du dernier sous-réseau (voir Figure 8). Ces deux coordonnées peuvent également être ajustées par deux vecteurs translation.

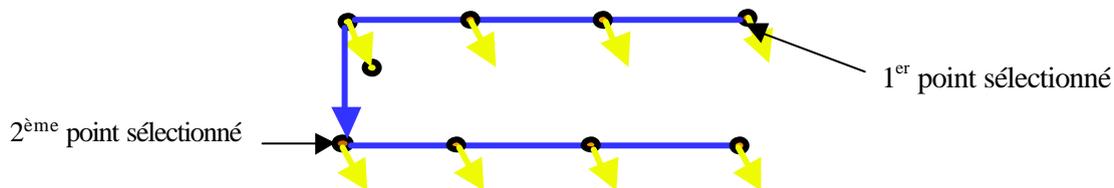


Figure 8 : Un réseau composé de deux sous-réseaux de 4 sources.

3.4.2. Affichage des données

- dans la scène : les sources sont représentées par une pyramide ou au choix de l'utilisateur par une sphère, un cône, un cube... la direction de visée est matérialisée par un segment (voir Figure 4). Seule la source sélectionnée est représentée ainsi, les autres sources ont alors une représentation simplifiée qui est un petit cube de la même couleur que la représentation détaillée. Cela évite une surcharge visuelle. La représentation détaillée d'un réseau est la représentation de chacune des sources qui le composent ; sa représentation simplifiée est composée de deux petits cubes placés à l'endroit de la source principale du réseau (celle qui a servi à créer le réseau) (Figure 9).

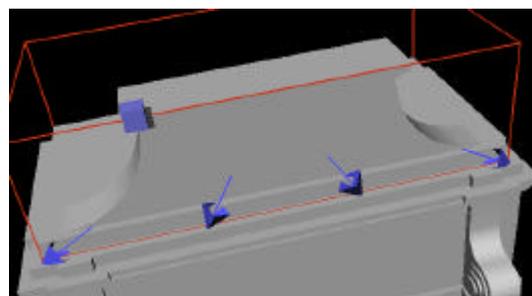


Figure 9 : Représentations simplifiée et détaillée d'un réseau de sources

- dans le graphe de la scène : on introduit l'objet source ou réseau de sources comme frère du composant auquel est attaché l'objet lumineux (voir Figure 3). L'ensemble source-composant est placé dans un nœud groupe. Une source est représentée par un hexagone jaune et un réseau par un hexagone orange.

3.4.3. Caractéristiques photométriques

Pour choisir les caractéristiques photométriques d'une source, on peut choisir un type de source dans la bibliothèque ou choisir un spectre et un solide photométrique à partir desquels il est possible de créer un nouveau type de source (Figure 10). Pour un type de source donné, une image aperçu du résultat de l'éclairage de cette source sur une surface de référence est affichée ainsi que des informations constructeur ; ces deux données ne sont pas modifiables. Divers paramètres correspondant ici au modèle de source utilisé par Candela peuvent être spécifiés pour chaque source (intensité, verticale, angle offset, distance offset).

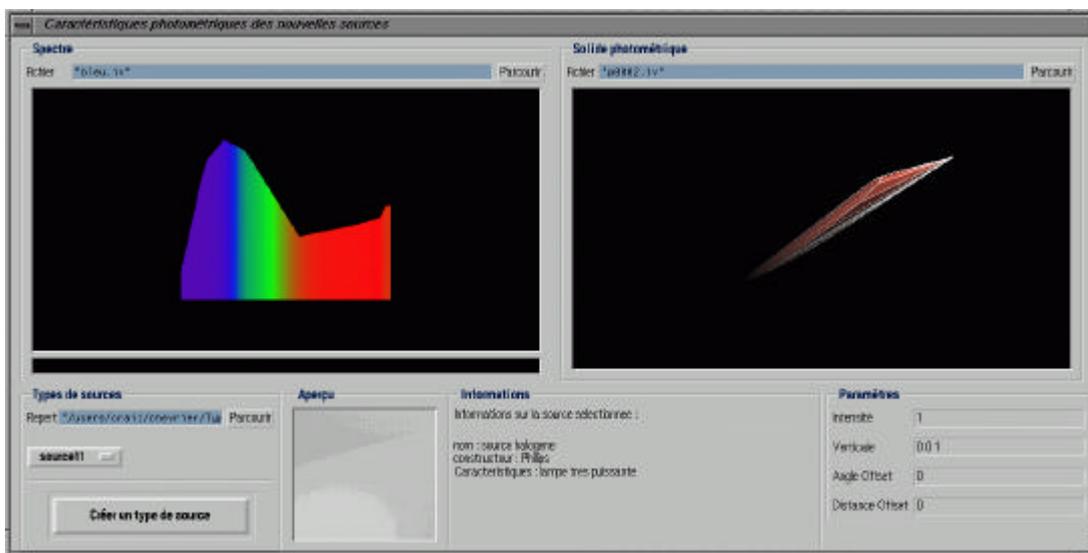


Figure 10 : Choix des caractéristiques photométriques d'une source lumineuse.

3.4.4. Options

Des options permettent de choisir :

- le type d'affichage de la scène et des sources : scène et composant sélectionné en mode face pleine, scène et composant sélectionné en mode filaire, scène en mode filaire et composant sélectionné en mode face pleine, scène invisible et composant sélectionné en mode face pleine.
- la représentation des sources : cube, sphère, cône, pyramide, aucune représentation, ou une représentation définie par l'utilisateur.
- échelle pour la représentation des sources,
- les sources peuvent être allumées ou éteintes,
- orientation des facettes (inverser la normale de l'ensemble du modèle).

3.3. Réalisation

Nous avons développé un outil interactif qui facilite le réglage de la configuration de sources lumineuses dans une scène architecturale, tant au niveau de la conception d'un projet d'illumination qu'au stade de son implantation définitive. A l'heure actuelle, les principales utilisations ont concerné l'illumination extérieure de monuments historiques. Mais d'autres

utilisations basées sur la physiologie de la vision ou l'ergonomie de l'éclairage (confort visuel) pourront être par exemple l'éclairage intérieur de musées ou de lieux de travail.

Cet outil est écrit en C++ pour Station Silicon Graphics sous UNIX avec la bibliothèque d'objets graphiques Open Inventor. Il sera ensuite porté sous Windows (NT, 2000).

Le choix d'Open Inventor a été fait pour plusieurs raisons :

- visualisation en temps réel basée sur OpenGL,
- bibliothèque d'objets 3D graphiques,
- interactivité simple (manipulateurs) en temps réel,
- illumination par un modèle local en temps réel : nous avons choisi une couleur diffuse pour les surfaces et l'utilisation de l'objet SpotLight pour représenter les sources),

Les différentes classes C++ utilisées sont représentés sur la Figure 11.

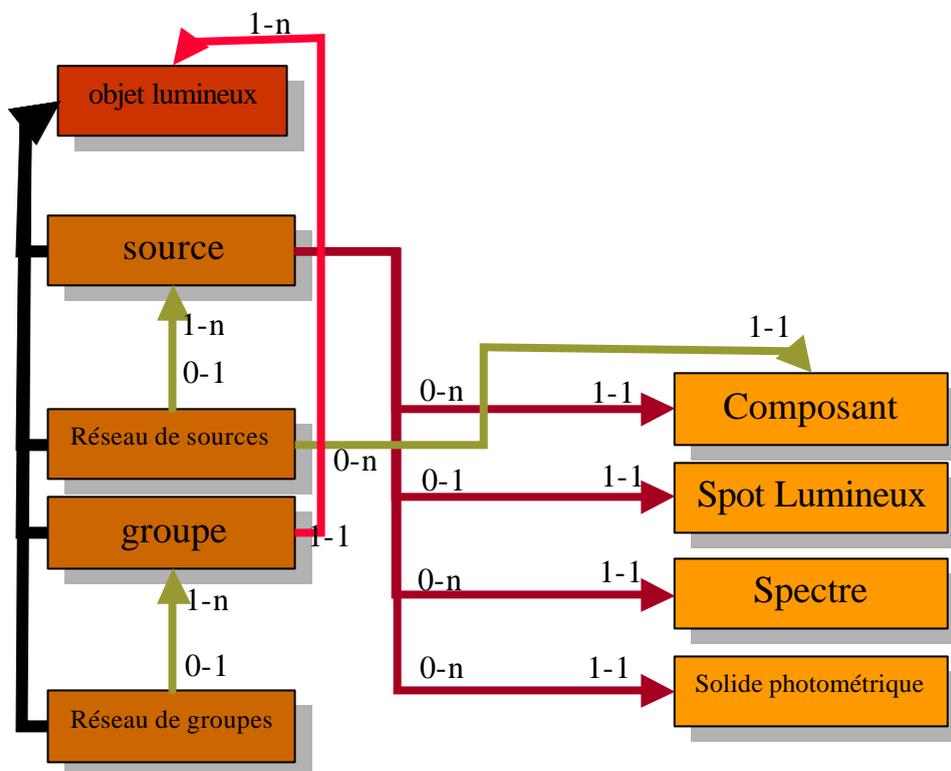


Figure 11 : Classes C++

4. Conclusion

Nous avons présenté dans cet article les spécificités des projets d'illumination et le logiciel que nous avons développé pour l'aide au positionnement des sources lumineuses, étape essentielle et longue dans tout projet d'éclairage.

Un tel logiciel peut constituer une aide importante aux concepteurs (architectes, éclairagistes ou concepteurs lumière) dans leur travail de conception de projets d'illumination. Il met à leur disposition des facilités de manipulation interactive, de gestion hiérarchisée des sources lumineuses et de simulation temps réel en cours de conception.

Références

D. Bur, Les Nocturnales de Kairouan, *Professional Lighting Design*, Ed. EDLA, Décembre 2001.

S. Merzouk, *Architecture logicielle et algorithmes pour la résolution de l'équation de radiance*, PHD Thesis, Institut National Polytechnique de Lorraine, 1998.

C. Chevrier, D. Bur and J. P. Perrin. "A simulation system for architectural projects", *6th International IBPSA Conference, Building Simulation '99*, Kyoto, 13-15 Sept. 99, p. 1085-1091.

I. Fasse. *Simulation d'illumination d'édifices architecturaux en image de synthèse, expérimentations*. PHD Thesis, Université Henri Poincaré, Nancy. 1996.