

LUMIERES & IMAGES 3D

afe

ASSOCIATION FRANÇAISE DE L'ÉCLAIRAGE

- ▼ Origine du Club 3D Lumière
- ▼ Travaux Enquête Expositions
- ▼ Du 2D au 3D
- ▼ Les images de synthèse : Généralités
- ▼ Les images de synthèse appliquées en éclairage (intérieur et extérieur)
- Les images colorisées
- Les images calculées : ingénierie lumière
- ▼ Logiciels de simulation 3D
- ▼ Interviews

Origine du Club 3D Lumière

Le Club 3D Lumière de l'AFE a pour mission de faire reconnaître une approche scientifique et rationnelle des mises en lumière par l'éclairage, grâce aux images informatiques calculées.

De nouveaux développements dans ce domaine permettent aujourd'hui d'évaluer, en 3 dimensions, les caractéristiques lumineuses d'un environnement en fonction de tous les paramètres qui interagissent avec la lumière.

A l'origine de cette idée, la constatation d'une certaine effervescence de l'image de synthèse informatique dans le domaine de l'éclairage.

Au cours des premières années, des réunions trimestrielles passionnées rassemblent architectes, maîtres d'ouvrage, concepteurs lumière et éclairagistes, scénographes et infographistes qui expriment leurs besoins et évoquent leurs expériences dans l'image de synthèse ■



Institut de France - EDF

Travaux-Enquêtes Expositions

En 2001, et grâce à un soutien d'EDF, le club peut communiquer :

- c'est d'abord le lancement d'une enquête marketing sur les produits de représentation informatique des projets d'éclairage, avec pour objectif l'état de l'offre et celui de la demande ou de l'utilisation ;
- c'est ensuite, la possibilité de tenir des réunions d'information dans des lieux privilégiés : CSTB, Fondation Electra, Centre Français de l'Electricité, Fédération des Industries Electriques, Journées de la Lumière, Ecoles d'architecture..., d'où ressort systématiquement l'intérêt du calcul et de l'image de synthèse. Sans ce calcul, l'image de synthèse n'apporte rien de plus que l'illustration traditionnelle. Le calcul fait toute la différence puisqu'il apporte des certitudes (en fonction bien sûr de la fiabilité des bases de données) et que les conséquences de la modification d'un paramètre peuvent être immédiatement calculées et traduites en image ;
- c'est enfin la possibilité d'éditer ce document qui donne les caractéristiques fondamentales de « **l'Ingénierie lumière** dans l'éclairage extérieur et intérieur » pour la satisfaction du lecteur convaincu ou à convaincre ■



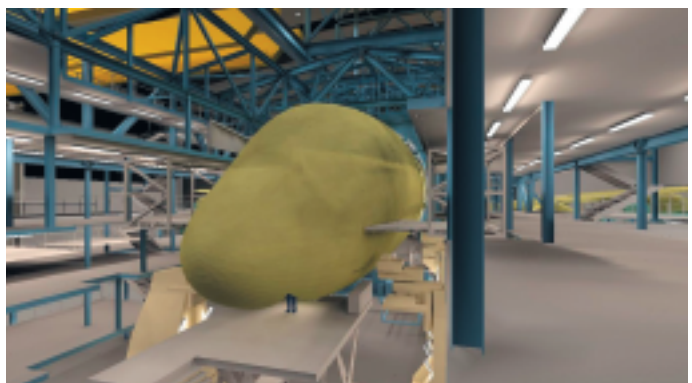
Simulation de l'éclairage artificiel d'un quartier inspiré de la Place du Bouffay à Nantes. Photothèque CSTB



Temple asiatique, temple fictif, avec déplacement interactif en «réalité virtuelle» Photothèque CSTB



Musée des Arts Primitifs Quai Branly à Paris visualisation interactive d'une vitrine suivant l'éclairage artificiel (direct, indirect, contre jour) et le choix du vitrage. Photothèque CSTB



Nez de l'Airbus A380. Photothèque CSTB

Du 2D au 3D

L'image de synthèse permet de montrer ce qui n'existe pas encore mais qui peut être calculé.

La réalisation d'une image de synthèse 3D suit un parcours fondamentalement différent de celui d'une image 2D.

En 3D, on commence par décrire un monde en sculptant le décor et les objets que l'on habille de matière et qui peuvent être vus sous tous les angles. On peut se rapprocher ou s'éloigner des sujets, tourner autour d'eux, les déplacer et même ETEINDRE ou ALLUMER les sources de lumière qui les éclairent. Ce monde observé par la caméra du logiciel doit être calculé par ordinateur et ce calcul dépend du nombre de points de couleur qui apparaissent sur l'écran et qu'on appelle « les pixels ».

Ce monde du 3D n'est donc pas une extension de l'image 2D; bien au contraire, l'image 2D (sur plan) est un sous produit d'une scène virtuelle 3D et une maquette numérique 3D génère autant d'images 2D que l'on souhaite ■

Les 3D IMAGES de synthèse : Généralités

L'image numérique englobe l'ensemble des images qui sont stockées sous forme de fichiers de données numériques, quel que soit le moyen qui les a générées.

L'image numérique peut être obtenue : par photographie numérique du monde réel, par création graphique sur logiciel en remplacement du dessin manuel, par trucage d'image numérique existante, et enfin, par la génération d'une image de synthèse. La principale utilisation de l'image numérique est l'infographie qui est une forme de traitement ou de création d'images assistées par ordinateur. Cette génération se fait quant à elle, à partir de logiciels graphiques, qui permettent de générer sur ordinateur la représentation que l'on se fait d'un produit. Le terme image de synthèse est employé dès lors que l'on utilise un programme d'ordinateur pour la générer, à partir d'une information géométrique en 3 dimensions.

Tout programme de génération d'images de synthèse produit ainsi une image numérique. L'image de synthèse a des applications multiples dans le monde de l'industrie puisqu'elle vise à représenter au mieux le monde réel souvent encore inexistant.

Ainsi, l'image de synthèse constitue la première étape de ce que l'on appelle LA REALITE VIRTUELLE, qui vise à mettre l'humain en situation quasi-réelle par l'utilisation de moyens de restitution visuelle, sonore..., qui permettront de simuler les conditions réelles de la scène.

L'élaboration d'une image de synthèse passe par 2 étapes :

- La modélisation
- Le rendu.

	Peinture	Photo	Télévision	Image de synthèse
Contenu	L'image représentée (réelle ou imaginaire)	L'image restituée (réelle)	L'image restituée (réelle)	L'image restituée/ représentée (réelle ou imaginaire)
Outil de création	Objet (peinture + pinceau)	Optique	Optique/tube cathodique	Ordinateur
Processus	Physique (apport de matière)	Chimique	Electrique	Informatique
Support	Matière (toile)	Flash fichier	Ecran	Tous supports
Part de l'homme	L'homme crée l'image	L'homme prend l'image, la machine restitue l'image	L'homme prend l'image, la machine restitue l'image	L'homme crée le programme, s'en sert pour construire une maquette qui va permettre à la machine de réaliser l'image

Extrait du rapport du Sénat sur les images de synthèse et le monde virtuel.

La modélisation : consiste à décrire une forme par la fabrication d'une maquette numérique qui est la représentation informatique 3D de l'objet à partir d'information géométrique. Chaque objet peut être décomposé en parties géométriques élémentaires tel que cube, sphère, cylindre, polygone, qui une fois assemblées permettent de générer chaque objet dans la scène. A ce stade, nous disposons ainsi d'une scène constituée de formes géométriques ne prenant pas en compte les caractéristiques photométriques des objets.

Le principal avantage de la modélisation est de donner une représentation de l'objet en 3 dimensions.

Le rendu : c'est le calcul du rendu qui fabrique véritablement l'image de synthèse. Ce calcul varie selon le logiciel que l'on utilise. Le choix du logiciel dépendra de l'utilisation de l'image, selon le degré de réalisme que l'on veut obtenir.

Les techniques traditionnelles de rendu d'un objet combinent une forme, traduite à l'image par une surface (modélisation) et un habillage de cette surface qui décrit l'aspect visuel (texturage). Le texturage consiste à appliquer sur une surface un motif, souvent une photographie d'une surface réelle qui respecte les caractéristiques d'une matière, pour suggérer visuellement la nature de cette surface. Le texturage est une des principales composantes du rendu réaliste de l'image. Même s'il y a une part de création artistique dans le texturage, cette opération dépend beaucoup des caractères physiques des objets représentés ainsi que de leur description mathématique. Dans notre métier de l'éclairage, l'illusion de la réalité passe obligatoirement par la prise en compte des sources de lumière et donc des effets d'éclairage sur un objet.

Pour cela, les techniques mises en jeu sont :

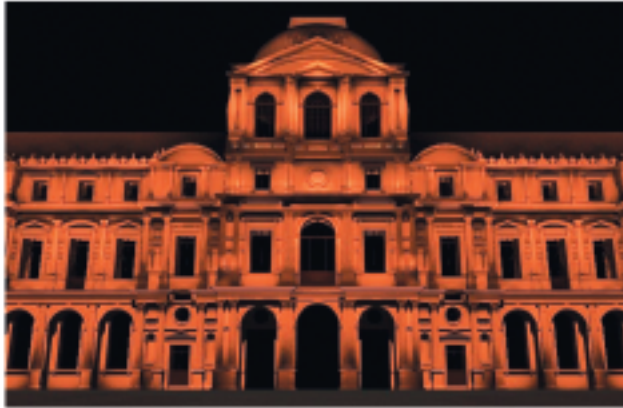
a) le traitement des ombres et des intensités lumineuses lorsque le passage de l'ombre à la lumière se fait de manière continue : chaque point est affecté d'une luminosité différente créant un dégradé de couleur qui permet de rendre compte des éclairages.

b) les propriétés des matériaux ; chaque matériau absorbe ou renvoie la lumière. Cette propriété va jouer sur l'objet lui même (les reflets, le scintillement), mais aussi sur les objets à proximité, puisque la lumière est envoyée sur les objets voisins. c'est alors que commence **l'Ingénierie lumière**, le permanent travail du Club 3D Lumière.

On a toujours fabriqué des images pour représenter ce que nous voyons ou ce que nous imaginons ; une image peut être définie à partir de 4 principes :

son contenu, sa fabrication, son support et la part de l'homme dans sa création ■

Calcul d'une image de synthèse - Radiosité



Sans radiosité



Avec radiosité

Calcul d'une image de synthèse - EDF

Les besoins

Les responsables d'un projet d'éclairage intérieur et extérieur ont pour double mission d'optimiser et d'embellir un espace par l'utilisation des propriétés de la lumière et des objets en présence. Cette optimisation dépend des dimensions du local, des caractéristiques spectrophotométriques des surfaces, de sa fonction et des missions que pourront avoir les occupants, ainsi que du choix parfois esthétique des luminaires. Cette optimisation se fait en tenant compte de l'éclairage naturel ambiant, variable, ainsi que des propriétés des murs, sols et plafonds, qui absorbent, renvoient ou transmettent la lumière. Avec l'apparition de récentes techniques d'éclairage, et l'utilisation de nouveaux matériaux, cette double fonction d'optimisation et d'embellissement, devient de plus en plus complexe; il est donc nécessaire d'utiliser des techniques de simulations qui répondront aux questions des éclairagistes.

Les outils informatiques

Les outils de conception assistée créent la géométrie du site et visualise un espace en trois dimensions, inerte sur le plan de l'éclairage, ils ne permettaient pas, jusqu'à de récentes années, de visualiser l'impact de l'éclairage sur ce site. Aujourd'hui, ces fonctionnalités apparaissent dans le monde de la CAO et permettent d'évaluer, grâce à la simulation, l'impact de l'éclairage sur un site, et de ce fait la façon dont l'homme percevra ce site. Au-delà d'une optimisation, il est aujourd'hui important de visualiser le site tel qu'il sera éclairé : l'image fournira une information virtuelle avant que le site ne soit réellement créé, dans un but de

se rapprocher du réel et de supprimer les incertitudes ; l'image est un outil de communication interactive qui permet de valider simplement les choix faits par le responsable du projet.

Les techniques d'images de synthèse

Il existe aujourd'hui plusieurs techniques de génération d'images de synthèse qui répondent chacune à des besoins différents. Aussi, il est important de distinguer ces techniques afin de connaître leurs performances, leurs limites et de sélectionner celle qui correspondra le mieux aux besoins de la réponse à la problématique.

Les solutions pour l'image

Il existe principalement deux familles de logiciels de génération d'images de synthèse :

- les logiciels ayant essentiellement une approche graphique destinée à créer des effets lumière sans en assurer la réalité,
- les logiciels ayant une approche physique, qui visent à déterminer les niveaux d'éclairement et de luminance, afin de reproduire sur l'écran le site éclairé.

Cette catégorie englobe elle-même plusieurs familles de logiciels, dont la précision et donc la fiabilité et la fidélité, dépendra de modèle de calcul, et d'algorithmes mis en oeuvre. Un algorithme est un ensemble de règles et d'opérations qui permettent de fournir la solution à certains problèmes mathématiques et de décrire des enchaînements.

LES IMAGES GRAPHIQUES

Générées par des algorithmes de type graphique auxquels sont associées des techniques de traitement d'images, ces images visent à donner une ambiance lumineuse : une source est ici caractérisée par un angle d'émission et une couleur, et va avoir pour effet, de rehausser le niveau de lumière de la partie de la scène éclairée par ce cône, en tenant compte de la couleur.

La source est souvent considérée comme ponctuelle, ce qui rend les ombres plus abruptes dans l'image. Différents effets peuvent alors être ajoutés, tel que le lissage des ombres par exemple afin de donner une impression de réalisme. Egalement des effets de reflets peuvent être ajoutés sur des matériaux, en rendant les objets plus ou moins réfléchissants. Récemment, des effets d'éblouissements graphiques ont été ajoutés en créant des halos autour des sources lumineuses. Ces logiciels permettent ainsi de générer une image qui pourra être réaliste sur le plan du graphisme, en fonction de la capacité de l'utilisateur du logiciel à exploiter, au mieux, les performances du logiciel. Ils permettront, entre autre, au maître d'oeuvre, de laisser libre cours à son imagination, en créant une image qui sera celle qu'il souhaitera, et ainsi la définir dans son cahier des charges. S'agissant d'effets graphiques, en aucun cas l'architecte ne pourra s'engager sur l'obtention réelle des effets qu'il aura pu visualiser à travers ces images.

LES IMAGES CALCULÉES

Les images calculées en ingénierie lumière visent à déterminer les niveaux d'éclairement et de luminance, la couleur et l'aspect du site, afin de reproduire sur l'écran le site éclairé. Cette catégorie englobe les logiciels dont la précision, et donc la fiabilité, dépend des modèles et des algorithmes mis en oeuvre.

Nous nous intéresserons dans la suite de ce document à ce mode de conception et d'études.

LES NIVEAUX DE QUALITÉ

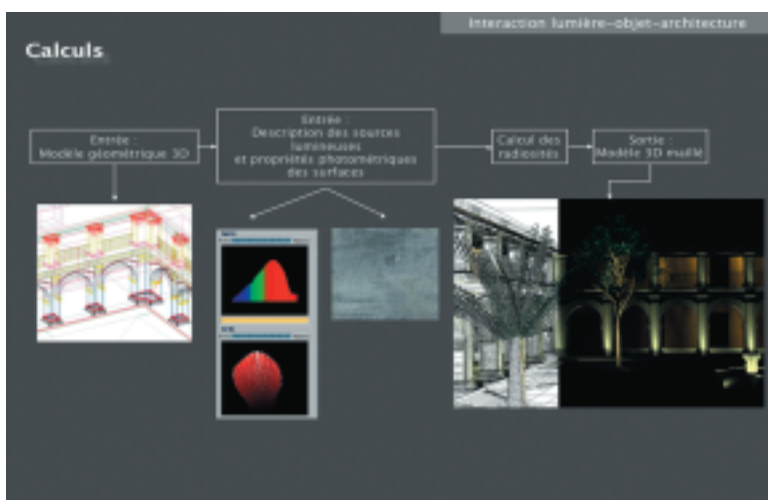
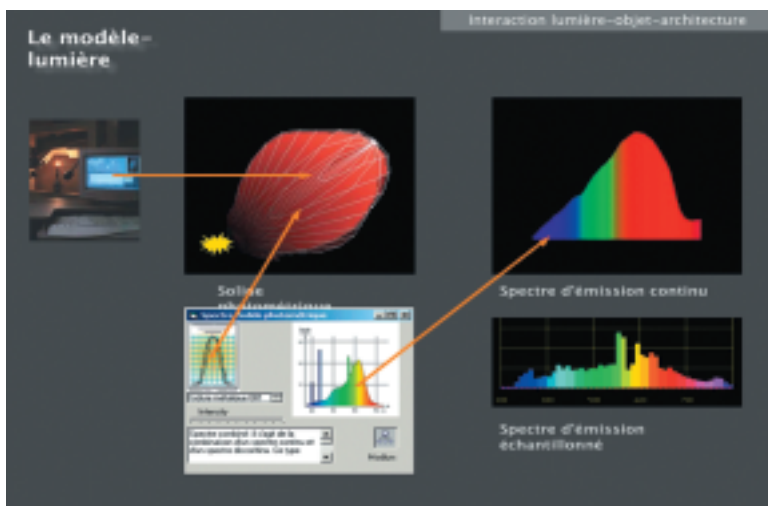
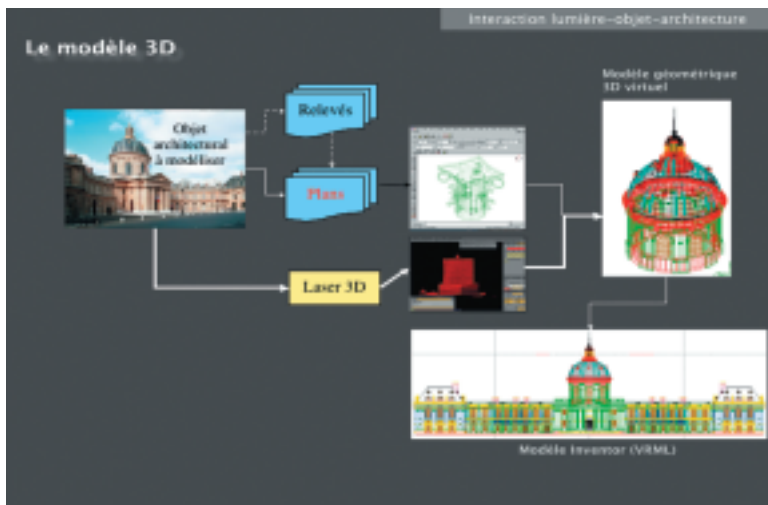
Les critères de performance

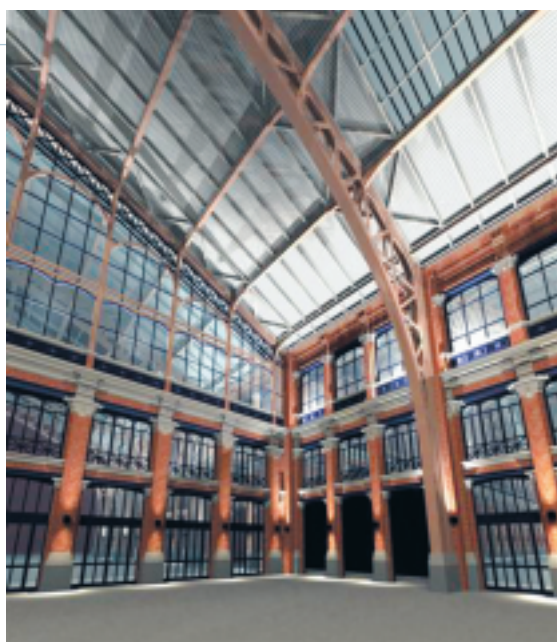
Les critères qui permettent de distinguer les différents logiciels, portent à la fois sur la qualité de la représentation 3D et sur les méthodes de propagation de la lumière qui diffèrent d'un logiciel à l'autre. Les modèles représentent la façon dont un objet est représenté sur le plan optique. Ces modèles s'appliquent aux sources de lumière, aux surfaces et matériaux, ainsi qu'aux caméras virtuelles. Les méthodes de propagation correspondent au moteur du logiciel et lui conféreront sa précision.

Sources de lumière

La nature des sources, point d'émission de la lumière, est essentielle et fondamentale dans la qualité du calcul de l'image.

Tout modèle de source est défini par ses propriétés géométriques (forme et zone lumineuse) et photométriques qui représentent l'énergie lumineuse totale (flux), sa distribution de lumière dans l'espace (intensité), ainsi que sa répartition spectrale (spectre) qui donnera la couleur finale dans la scène. Ces propriétés sont approchées différemment dans chaque logiciel; le tableau ci-après présente uniquement les cas extrêmes, simple et concret, pour chaque propriété. Les logiciels disponibles peuvent se trouver entre ces deux cas.





Gare de Lille - Image 3D © Pascal Chabaud - www.mediation.com

Fonction	Prise en compte	Influence	Modèle simple	Modèle complet
Géométrie	Zone lumineuse complète	Sur la dimension de la zone éclairée ainsi que la position et la précision des ombres	Ponctuelle	Étendue en volume
Intensité	Rayonnement d'un luminaire dans l'espace	Sur la zone éclairée directement par les luminaires. La lumière ayant pour effet de rebondir plusieurs fois sur la scène influe directement sur la précision des calculs	Cône de lumière et répartition constante	Diagramme de la répartition en 3D de la lumière dans l'espace. (Solide photométrique)
Flux total	Émis par la source	Perception visuelle	Non pris en compte	Complet
Répartition spectrale	Énergie pour chaque longueur d'onde	Sur la qualité du modèle	Représentation RVB (Rouge, Vert, Bleu)	Partielle, voire totale

Matériaux

De même que pour les sources de lumière, il existe plusieurs niveaux de performances de modèles de matériaux qui influenceront sur la fidélité de la couleur finale ainsi que sur l'aspect de chaque objet.

Ces niveaux sont classifiés dans le tableau suivant :

Fonction	Prise en compte	Influence	Modèle simple	Modèle complet
Diffusion et réflexion	Caractérise la façon dont tout objet renvoie la lumière qu'il reçoit dans l'espace	Sur les niveaux d'éclairément, sur les objets et sur leurs aspects	Facteur de diffusion et de specularité	—
Réfraction	Déviation de la lumière à la traversée d'un objet	—	Souvent non prise en compte	Prise en compte de façon rigoureuse.
Couleur	Il s'agit de la façon dont un objet absorbe des rayonnements lumineux	La couleur dépend en fait de la lumière environnante. Il est donc impossible de définir cette entrée sans préciser pour quel éclairage est donnée cette couleur	Entrée d'une couleur de type coordonnée dans l'espace RVB (Rouge, Vert, Bleu)	Spectrale, qui prend en compte la fonction complète d'absorption pour chaque longueur d'onde. Permet de déterminer la couleur finale

Position d'information: les caméras

Il existe plusieurs moteurs de calculs de propagation de la lumière et nous nous limiterons, dans ce paragraphe, à identifier leurs différenciations.

Fonction	Prise en compte	Influence	Modèle simple	Modèle complet
Réflexions multiples	Rebonds multiples de la lumière dans la scène	Sur la précision des résultats photométriques et sur les couleurs finales	Nombre de rebonds limité à quelques rebonds	Pas de limitation, le photon s'arrête lorsque la lumière est absorbée ou vue
Photométrie	Informations énergétiques dans la scène	Sur la colorimétrie. En l'absence, impossibilité de prendre en compte la perception visuelle	Limitée aux composantes diffuses	Fournit les valeurs absolues correctes et fiables
Répartition spectrale	Information spectrale lors de la propagation	Influe sur l'information couleur	RVB, voire pas de spectre	Spectre complet

Position d'information: les caméras

Comme pour la source, la photo virtuelle du site dépend de la position d'observation.

Fonction	Prise en compte	Influence	Modèle simple	Modèle complet
Géométrie	Résolution et cadrage de la zone photo	Sur la dimension de la zone éclairée ainsi que la position et la précision des ombres	Ponctuelle	Etendue en volume
Sensibilité	Représente la luminosité dans l'image	Sur la fidélité de l'image, notamment la nature des contrastes	Génère une image au format simple	Génère une image au format haute définition pour laquelle l'ensemble des niveaux de gris sont renseignés
Luminance	Fonction représentative de l'énergie reçue dans l'oeil	Sur les niveaux d'éblouissement et de confort d'un espace	Pas de prise en compte	Prise en compte complète des gradients de luminance
Repartition Spectrale	Obtention du spectre dans l'image finale	Sur la précision de la couleur finale de la scène	Représentation RVB (Rouge, Vert, Bleu)	Partielle ou totale
Vision humaine	Prise en compte des propriétés de la vision humaine	Sur la fidélité de l'image finale et assure la perception que l'on pourra obtenir de la scène réelle	Non prise en compte	Information sur les contrastes, les éblouissements et la vision des couleurs

Les méthodes de calcul

Au préalable, il est important de décrire la façon dont la lumière se propage dans l'environnement :

la lumière est émise par les sources de lumière, puis rebondit sur la multitude d'objets en présence, indéfiniment, jusqu'à ce qu'elle soit absorbée, soit par un objet, lui donnant ainsi sa couleur, soit par votre oeil, vous permettant de créer une image. L'échange d'énergie lumineuse entre les différents objets en présence est appelé « échange radiatif ». Cet échange dépend de la nature même des matériaux et de leur façon propre à renvoyer la lumière. En particulier, il est important de souligner que la lumière renvoyée par tout autre objet dépend de la direction de la lumière qui arrive sur cet objet. C'est ainsi qu'un matériau donnera son aspect.

Les lois physiques qui gouvernent cette propagation sont les lois de l'optique et de la photométrie.

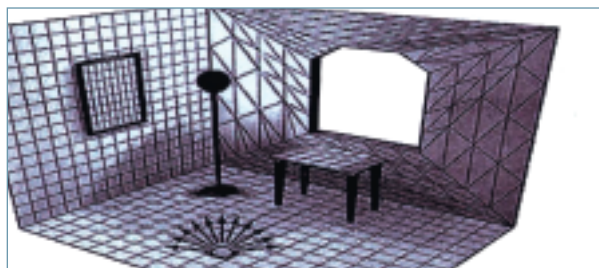
INGÉNIERIE LUMIÈRE

Le terme **Ingénierie lumière** désigne les différentes techniques de simulation de l'éclairage :

radiosité, photométrie, lancer de rayons, ...

Ce type de logiciel utilise, de façon analytique, les équations de base des échanges d'énergie lumineuse entre les différents objets. Chaque objet est maillé, et pour chaque maille, on calcule l'énergie lumineuse reçue. Cette énergie est alors renvoyée par la maille, ou surface élémentaire, vers l'ensemble des autres mailles

suivant les propriétés de la lumière incidente et de la surface de la maille.



Ce type de logiciel fonctionne souvent par boucle, la première étant l'évaluation de la quantité de lumière reçue par chaque maille, directement depuis chaque source. (Fig.1)



Le nombre de données étant multiplié à chaque passage, puisqu'il faut mémoriser le trajet de la lumière dans l'espace, la quantité de calcul devient exponentielle avec le nombre de passes. (Fig.2 et 3)



C'est pourquoi ce type de calcul a généré trois alternatives :

- **l'approximation dite de radiosité**, qui simplifie les équations en considérant que tous les objets renvoient la lumière uniformément dans toutes les directions (comportement isotrope), quelle que soit la direction de la lumière incidente,
- **les logiciels photométriques**, basés sur des équations analytiques, qui proposent un nombre limité de passes mais respectent rigoureusement le trajet de la lumière et le comportement de la surface, au détriment de la précision de l'image,
- **les logiciels de lancer de rayon ou (ray-tracing)** basés sur des techniques dites de « Monte-Carlo », qui reproduisent de façon rigoureuse le comportement et la propagation d'un photon dans une scène.

Simulation de l'ambiance lumineuse d'une salle de restaurant de l'hôtel Radison à Rome dans différentes conditions d'éclairage. On note les différentes technologies d'éclairage utilisées associées aux matériaux, en particulier un éclairage diffus à gauche, généré par un luminaire opaque, ainsi que la présence d'un éclairage d'ambiance à droite. La gestion des luminaires permet ainsi de gérer les ambiances et les contrastes. Logiciel utilisé : SPEOS OPTIS - www.optis.fr



Logiciels de radiosité

Cette méthode de calcul, du modèle d'illumination d'une scène suppose que toutes les surfaces sont de type diffusant et se comportent de façon isotrope. Cette propriété est typique des surfaces de papier et de plâtre ce qui limite les applications de ces logiciels. Ces logiciels permettent d'entrer des composantes diffusantes et spéculaires des surfaces, ce qui correspond à des aspects respectivement satinés et poli miroir qui seront traités séparément ; les équations de propagation sont alors découplées entre ces différents modes, et les trois composantes sont sommées en fin de calcul.

Les échanges d'énergie lumineuse entre les différents objets d'une scène sont calculés en première passe et sommés pour chaque maille, perdant alors la direction d'origine de la lumière. Chaque maille re-émet de la lumière de façon homogène, pour être à nouveau recueillie par l'ensemble des autres mailles lors d'une seconde passe. Ce processus continue jusqu'à convergence du résultat ou arrêt décidé par l'utilisateur.

On dit souvent que la radiosité offre l'avantage de permettre de se déplacer en temps réel dans l'environnement virtuel ; il est important de comprendre que c'est parce que les équations ont été simplifiées et que l'on s'est affranchi du comportement non homogène des surfaces réelles, qu'il est possible algorithmiquement de se déplacer. Mais le résultat restera approximatif pour toutes les positions prises dans l'espace.

Malgré les approximations faites, le temps de calcul d'une image est assez long et prendra plusieurs heures sur une scène intérieure. Hormis le cas où l'on traite réellement une scène constituée d'objets qui se comportent de façon diffusante, il est impossible d'obtenir par simulation le niveau photométrique qui sera obtenu en réalité.

L'image est embellie en ajoutant une technique de «ray-tracing» qui permet de calculer les reflets dans l'image.

Sur le plan spectral, la plupart des logiciels de radiosité fonctionnent en propageant des couleurs primaires (Rouge, Vert, Bleu) qui correspondent aux photophores des écrans. Bien que l'oeil soit constitué de cônes sensibles à 3 spectres différents, la propagation seule de ces trois composantes ne permet pas d'assurer la couleur finale obtenue dans la scène.

Logiciels de photométrie analytique

Cette méthode, utilisée par des logiciels spécialisés dans l'éclairage, offre l'avantage de tirer partie de la rapidité de calcul des techniques analytiques, tout en respectant les équations photométriques rigoureuses. A la différence de la radiosité, la lumière reçue par chaque source, n'est pas sommée et intégrée dans chaque maille, mais immédiatement renvoyée

dans l'espace, conservant ainsi les propriétés de diffusion de la maille, propriétés qui dépendent de la direction de la lumière incidente. Il n'y a pas, comme en radiosité, de notion de passe qui corresponde à une répétition de ce processus, mais plutôt une notion de nombre de rebonds que va parcourir la lumière dans la scène. Plus le nombre de rebonds considéré est important et plus le temps de calcul sera long. Toutefois, cette technique permet d'obtenir des images en quelques minutes, voire quelques secondes, sur une scène intérieure.

C'est ce nombre de rebonds, d'une part, et la finesse du maillage, d'autre part, qui vont déterminer les performances du logiciel.

Sur le plan spectral, la même remarque est à faire concernant la projection sur trois composantes qu'utilisent certains logiciels. On distinguera alors les logiciels qui réalisent un calcul multispectral qui permettront seuls, de réaliser une analyse colorimétrique ultérieure.

Logiciels de Lancer de Rayon (Ray-tracing)

Cette méthode est celle qui reproduit fidèlement le parcours de la lumière dans une scène, chaque rayon matérialisant un photon, avec ses propriétés de longueur d'onde, et de polarisation. La méthode consiste à envoyer, depuis les sources artificielles et naturelles, plusieurs millions de photons dans la scène et recueillir ceux qui seront captés par l'oeil.

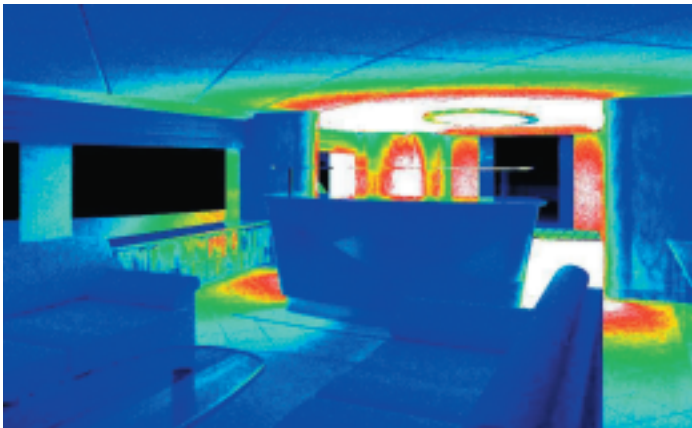
Les principaux avantages de cette méthode sont la capacité à reproduire fidèlement les phénomènes physiques de réfraction, c'est-à-dire, la traversée d'objets transparents, ainsi que de réflexion et diffusion de la lumière. Elle permet de prendre en compte, de façon rigoureuse, le comportement non isotrope des



Les simulations d'éclairage et de visualisation avant-projet sont également utilisées dans le monde de l'industrie en particulier de l'aéronautique et de la grande plaisance. L'utilisation des moyens de simulation permet de valider le choix des technologies d'éclairage, et des matériaux qui orientent la décision du client final.

En bas le niveau de luminance s'affiche en couleur afin de valider la qualité d'un éclairage.

Logiciel utilisé : SPEOS CAAV5 Based
OPTIS - www.optis.fr



surfaces. Il est possible de générer une image finale avec en tout point de la scène une valeur précise du niveau d'éclairement, et surtout une valeur de luminance qui sera perçue par l'observateur. Cette dernière valeur est la seule grandeur que l'œil va « percevoir ». Ce dernier point est important pour les applications de salles intérieures puisque la luminance est la seule grandeur qui vous permettra d'évaluer le confort visuel d'une salle intérieure.

L'utilisation d'algorithmes spectraux, qui mettent en oeuvre un calcul sur l'ensemble du spectre à plusieurs longueurs d'ondes, permet également de se rapprocher de la couleur de la scène. Une image générée par ces méthodes est ainsi obtenue en quelques heures et offre l'avantage de fournir simultanément **l'image, les niveaux d'éclairement, les niveaux de luminance, ainsi que la couleur en tout point du lieu.**

L'ÉCLAIRAGE NATUREL

Le besoin

L'éclairage naturel est aussi important pour la mise en lumière d'un site extérieur qu'intérieur. La lumière doit être correctement simulée pour être certain de son effet et travailler avec un éclairage par défaut qui soit fiable.

Plusieurs niveaux de modélisation sont proposés, et l'utilisateur devra orienter son choix en fonction de ses propres besoins.

Le soleil

Souvent considéré comme un point lumineux à l'infini, il permet de générer des éclaircissements ainsi que des ombres qui rendront la scène encore plus réaliste.

Le ciel virtuel

Cette fonctionnalité est aujourd'hui utilisée dans la conception de projets architecturaux qui vont, soit faire de l'ombre sur l'espace environnant, soit réfléchir la lumière dans certaines directions de l'espace, comme c'est le cas sur les bâtiments en métal et en verre. En éclairage intérieur, on l'utilise pour l'aménagement des grands espaces ouverts pour lesquels les points distants des fenêtres doivent être éclairés en plein jour.

CONCLUSION

L'Ingénierie lumière s'applique à des projets de plus en plus complexes, mettant en oeuvre des sources de lumière de nouvelles technologies, de nouveaux matériaux dont l'effet et la perception varient avec cet environnement lumineux.

Avec le perfectionnement des logiciels de simulation et des techniques informatiques, il est aujourd'hui possible d'obtenir aisément des images de synthèse qui intègrent toutes les données lumière nécessaires à un projet d'éclairage intérieur comme extérieur.

Le recours à l'image de synthèse, qui est synonyme du prototypage virtuel dans le monde de l'industrie, s'avère aujourd'hui nécessaire pour assurer les performances techniques et économiques d'un éclairage de plus en plus complexe et géré. Durant ces 3 dernières années, d'importants travaux de recherche et développement ont été menés pour accélérer considérablement le calcul d'une image, rendant à présent compatible l'utilisation de ces logiciels dans nos métiers de l'éclairage ■

Logiciels de simulation d'éclairage 3D

Nombre d'universités, de centres de recherche à travers le monde travaillent sur ce sujet. Aux USA, un des plus connus s'appelle **RADIANCE**, développé par l'université de Berkeley.

En France, citons entre autres :

- **CNRS - Candela (INRIA à Nancy)**
- **ENTPE - Genelux**
- **LCPC - Lise**
- **CSTB - Phanie**

Les principaux logiciels actuellement sur le marché sont généralement configurés pour les Architectes. **AUTOCAD, RAYFRONT, LIGHTSCAPE, DIALUX** et beaucoup d'autres, intègrent un volet «Radiosité», et les plus récents, des algorithmes «photométriques» pour **SPEOS de l'éditeur français OPTIS**, aujourd'hui intégré à **SolidWorks, Catia V5 et Digital project de Gehry Technologies**.

Des sociétés d'étude et des infographes comme **PIXIUM, OPTIS**, ont aussi développé leurs propres outils de simulation souvent à partir de la méthode du «lancer de rayon».

Enfin, citons des outils de simulation spécifiques pour la lumière du jour : **DAYSIM, GENELUX, LIGHTSWITCH WIZARD, SKYVISION, SPEOS...**

A noter, qu'il est apparu ces dernières années une nouvelle manière d'interpréter l'éclairage : l'infographie lumière 3D généralement réalisée par des architectes de formation. Nous citons entre autres : **KAUPUNKI, MEDIATION, ARTE FACTORY, AURALAB**.



Mise en lumière d'une salle de bains du Es Hotel - Roma. Trois spots lumineux éclairent le mur en lumière rasante. On remarque les effets de réflexion multiple sur les vitrages ainsi que sur la baignoire choisie ici en inox.
Logiciel utilisé : SPEOS Architecture Lighting - OPTIS - www.optis.fr.

Interviews

Alain MAUGARD

Président du CSTB

Nous allons vers une convergence de toutes les ingénieries du bâtiment (structure, thermique, acoustique, aéroulique, feu, lumière) au service de l'architecture. Elles se rassembleront toutes autour de la maquette numérique en trois dimensions. L'ingénierie lumière 3D aura une place centrale puisqu'il faut bien représenter les volumes et les espaces par une image ; volumes et espaces qui sont au coeur de l'architecture.

L'image calculée en 3D ne saurait se substituer à l'image poétique qui donne ambition au projet ; image poétique qui restera le support de nos rêves. Mais prenons garde de ne pas trop nous éloigner des réalités, et en ce sens, la possibilité de faire une image calculée sera le meilleur moyen de réaliser nos rêves.

Jacques DELACOUR

PDG Société OPTIS

Les technologies d'image 3D au service du concepteur lumière ont fait l'objet d'importants développements ces dernières années. La simulation physique, au service de l'image, fournit à présent un haut niveau de réalisme, une information fiable et fidèle. Je suis certain que l'arrivée simultanée de ces outils et des nouvelles technologies en éclairage, en particulier les LED, vont bouleverser la conception lumière de projets et accroîtront créativité et maîtrise du concepteur.

Alain MARCOT

Architecte d'intérieur – Ancien Président de la FNSAI

... Qu'il s'agisse des domaines privé ou public, l'éclairage devient le paramètre essentiel d'une réflexion sur l'espace et sa perception. C'est, peut-on dire, la quatrième dimension de l'architecture et, par conséquence, celle qui nécessite le concours de spécialistes partenaires dans les projets, répondant à la complexité et au savoir indispensable à la gestion exacte de cette nouvelle dimension. Plus précisément, dans le traitement des espaces intérieurs, l'éclairage est un des paramètres émotionnels les plus subtils pour traduire les sensations, les mises en scène. La précision de ces études nécessite une compétence technologique vérifiable par l'ingénierie lumière qui crée autour de l'homme et de son environnement une convergence de qualité, d'émotions et de magie. Au même titre qu'il est aujourd'hui incontournable de questionner un ingénieur climatique, il devient tout aussi incontournable d'y associer une ingénierie lumière par le recours à l'image de synthèse pour parfaire un projet et lui donner sa véritable identité ...

Jean-Charles CHAULET

Architecte – Atelier de Christian de Portzamparc

L'atelier utilise le rendu d'images en radiosité depuis 1997 de manière expérimentale, c'est seulement en 2002 que cette technique s'est imposée chez nous grâce essentiellement à l'évolution des logiciels et des ordinateurs. Ce qui nous a tout de suite séduits est la capacité à reproduire la propagation naturelle et subtile de la lumière, c'est un outil sensible qui permet d'exprimer et de juger les qualités esthétiques des projets dans des phases d'études où l'image influence fortement la perception et donc le devenir. Nous commençons généralement par étudier le projet en lumière naturelle puis nous travaillons l'éclairage artificiel aussi bien dans sa dimension utilitaire qu'architecturale. La radiosité, en simulant un cheminement réaliste de la lumière, permet d'exprimer des intentions physiquement plausibles que nous formalisons techniquement en collaboration avec les entreprises d'éclairage. Si plusieurs moteurs de radiosité sont maintenant disponibles sur le marché, ils restent lents et il n'y a toujours pas de bases de données précises des propriétés des matériaux ; dans ce domaine, l'expérience de l'utilisateur reste le meilleur outil.

Bureau
(éclairage artificiel et naturel)
PIXIUM
simulation 3D temps réel - www.pixium.fr



Franck HOVORKA

**Chef de projet – ICADE-EMGP investissement
Caisse de Dépôts et de Consignations**

Si depuis longtemps les techniques d'image de synthèse graphique pour représenter un projet sont utilisées, nous n'obtenions que des images de réalité « Virtuelle ».

Les simulations calculées d'éclairage en 3D deviennent, quant à elles, un outil puissant d'aide à la décision. Avec une approche en image calculée à partir d'une modélisation, le décideur obtient une image plus fidèle à la réalité future d'un projet et de plus, ce décideur, souvent non spécialiste, peut percevoir beaucoup plus facilement l'impact de choix différents à travers les simulations d'éclairage qu'il est possible ainsi de présenter. Il est certain que dans le cadre d'une démarche HQE comme celle du bâtiment 270 que nous venons de livrer, ces simulations ont été très utiles pour justifier ou modifier des choix.

Enfin, il est ainsi plus aisé de présenter des projets complexes d'éclairage urbain ou de façade, par exemple, avec un rendu plus fidèle. La limite d'ouvrage résulte encore du coût relativement élevé de la modélisation numérique de la maquette de l'ouvrage ainsi que des temps de calcul nécessaires aux différentes simulations. Mais ne doutons pas qu'un usage plus large rendent ces coûts plus abordables.

Gilles PIERRET

**Responsable du Bureau d'études d'éclairagisme
Thorn Lighting France**

L'image de synthèse permet aujourd'hui le développement de nombreux domaines techniques (paléontologie, médecine...)

Je suis persuadé que l'éclairagisme pourra profiter aussi des avantages que peut apporter l'image 3D. Mais il reste encore des limitations qui en empêchent l'utilisation quotidienne au niveau d'un bureau d'études. Pour moi, son travail consiste à concevoir, mettre en place, et éventuellement vérifier par l'imagerie, le système d'éclairage le plus approprié.

Or, il faut pour cela la « matière première », l'image 3D du monument à éclairer par exemple. Cette image n'existe généralement pas. Il faut donc la modéliser. Avec toutes les hypothèses que cela engendre au niveau des textures et donc des propriétés réfléchissantes des différents matériaux du monument, mais aussi au niveau du détail à prendre en compte pour les occultations éventuelles du faisceau lumineux. Plus on veut être réaliste, plus le temps à passer sur la modélisation est conséquent, et plus la recherche des hypothèses exactes est complexe. Il existe aussi une limite liée au rendu des couleurs (élément très important dans la mise en valeur des monuments par l'éclairage). Les logiciels actuels ne sont pas capables de prendre en compte les propriétés spectrales des sources et des matériaux (impossible de simuler correctement l'utilisation de filtres, de différencier les rendus de deux sources de spectres différents). En conclusion, l'image 3D peut apporter beaucoup à la compréhension d'une étude d'éclairage mais le rapport du temps passé sur le niveau de réalisme obtenu reste encore trop important par rapport à ce qu'un éclairagiste expérimenté peut obtenir en imagerie 2D traditionnelle.

Marc ALBOUY

Expert en ingénierie culturelle

Conseiller scientifique auprès de l'UNESCO

La conception lumière exige à la fois créativité et rigueur. L'idée ne suffit pas ; il faut la valider et la faire partager aux décideurs. A cet égard, la simulation numérique en trois dimensions a démontré, à l'usage, sa pertinence et son utilité, et bien souvent sa nécessité.

Pourquoi ?

1 – Elle permet d'élaborer, de préciser et de tester plusieurs hypothèses autant de fois que nécessaire, ce qui est absolument impossible autrement puisque les phénomènes lumineux ne peuvent être représentés par des « modèles physiques réduits ». On a donc recours aux modèles numériques.

2 – Elle permet d'optimiser les coûts, dans la mesure où la multiplication des tests en amont évite les tâtonnements en aval lors des essais. Et ceux-ci sont toujours partiels (une travée de l'édifice) et coûteux !

3 – Elle permet au maître d'ouvrage de VOIR avant de DECIDER et aussi de créer un dialogue fécond entre concepteur et décideurs.

Bien sûr, cet exercice exige de créer un modèle tridimensionnel réaliste de ou des objets à éclairer et d'utiliser un logiciel performant, notamment pour représenter le spectre des sources lumineuses, tenir compte de la réponse réflexive des différents matériaux (pierre, métal, bois, tissus...) en particulier les réflexions spéculaires, ainsi que pour calculer la radiosité induite. Il suppose aussi d'utiliser une méthode progressive : étude et test sur des éléments architecturaux répétitifs (une travée par exemple), puis synthèse sur l'ensemble de l'édifice, enfin simulation in situ dans l'environnement (place, rue...).

En deux mots, la simulation permet d'interpréter le rêve et de le faire partager !

Pierre BIDEAU

Concepteur lumière

On peut difficilement imaginer, aujourd'hui, une présentation de projet de mise en lumière sans recours à l'infographie ou l'image de synthèse. Voilà quinze ou vingt ans, le projet s'exprimait par l'utilisation de crayons de couleur ou par montage photographique, ou bien, pour les plus doués, par gouache ou aquarelle. Les outils informatiques, de plus en plus sophistiqués, à notre disposition permettent maintenant, non seulement d'exprimer la philosophie du projet, mais également de présenter l'image réaliste de la réalisation. Bien entendu, quelques précautions doivent être prises auprès du maître d'ouvrage pour se protéger d'une éventuelle comparaison entre l'image proposée et la réalisation concrète. Le projet est en effet sujet à une évolution, tant au niveau des essais que des réglages finaux et l'illumination n'est finalisée que le soir de l'inauguration. Comme le peintre, le concepteur lumière doit être autorisé à retoucher son projet au cours de sa réalisation et la comparaison entre l'infographie et l'image finale ne doit concerner que l'esprit général.

Interviews

Marc Becker**Chef du département travaux aménagements urbains****Mairie de Thionville**

Comme beaucoup, nous créons en interne quelques simulations simples sur le logiciel Photoshop® en 2D, intégrations d'appareils ou simulations légères de mises en lumière. Pour les opérations plus importantes, nous faisons appel à des prestataires extérieurs spécialisés.

Les atouts de l'image de synthèse :

Nous sommes persuadés que les images représentent une lecture claire et rapide pour les élus et les architectes (ABF, DRAC, ACMH), permettant de valider ou de critiquer un projet (meilleure appréciation).

Nous utilisons aussi les images de synthèse pour la visualisation diurne de certains projets. Lors de «Thionville lumières 2004», nous avons présenté aux professionnels venus pour les conférences, un clip vidéo entièrement réalisé par Pixium de Strasbourg qui permettait, en imagerie panoramique, de voir l'ensemble du front de Moselle sur lequel nous travaillons en conception lumière du jour et de nuit.

La ville de Thionville utilise également l'image de synthèse pour la communication des projets via la presse, les panneaux de chantiers et les réunions d'informations.

Jean-Marc DENIEL**Concepteur éclairagiste**

Club 3D : Quels outils numériques utilisez-vous ?

JMD : D'abord un modèleur grand public m'aide à créer mes maquettes 3D. Ensuite, mes logiciels convertissent les données des fabricants pour ma propre plate-forme de simulation qui calcule l'éclairage naturel et artificiel, le confort visuel et les apports solaires automatiquement et dans de nombreuses configurations (date, heure, état du ciel...)

Club 3D : Quelle place occupent les outils de simulation numérique dans votre travail ?

JMD : Je les estime à égalité avec mon expertise dans les domaines sus cités : ce sont des outils nécessaires mais très peu répandus, qui représentent une bonne part de ma « valeur ajoutée ».

Club 3D : Quels sont les apports pour les maîtres d'ouvrage ?

JMD : A la différence des logiciels grand public de synthèse d'image, ces logiciels calculent avec fiabilité l'éclairage et le confort visuel. Ils donnent aussi des indications précises pour l'estimation des risques de surchauffe des bâtiments. Les maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre connaissent alors les performances de leur projet ; des correctifs peuvent être envisagés, dimensionnés et validés à temps.

▼ **INFORMATIONS**

AFE-Club 3 D Lumière

17, rue de l'Amiral Hamelin

75783 Paris Cedex 16

Fax : 01 45 05 72 70

email : afe@afe-eclairage.com.fr

Internet : www.afe-eclairage.com

▼ **RÉDACTION**

Jacques DELACOUR particulièrement,
et les partenaires du Club 3D Lumière.

▼ **DIFFUSION**

Maîtres d'œuvre et d'ouvrage - Fabricants de sources de lumière et de matériels d'éclairage - Bureaux d'études spécialisés
Concepteurs lumière et éclairagistes
Infographes lumière - Ecoles d'Architecture et d'Architecture Intérieure.

▼ **RÉALISATION**

Conception, Photogravure, Impression:
ABSOLU SPP PACK

▼ **REMERCIEMENTS**

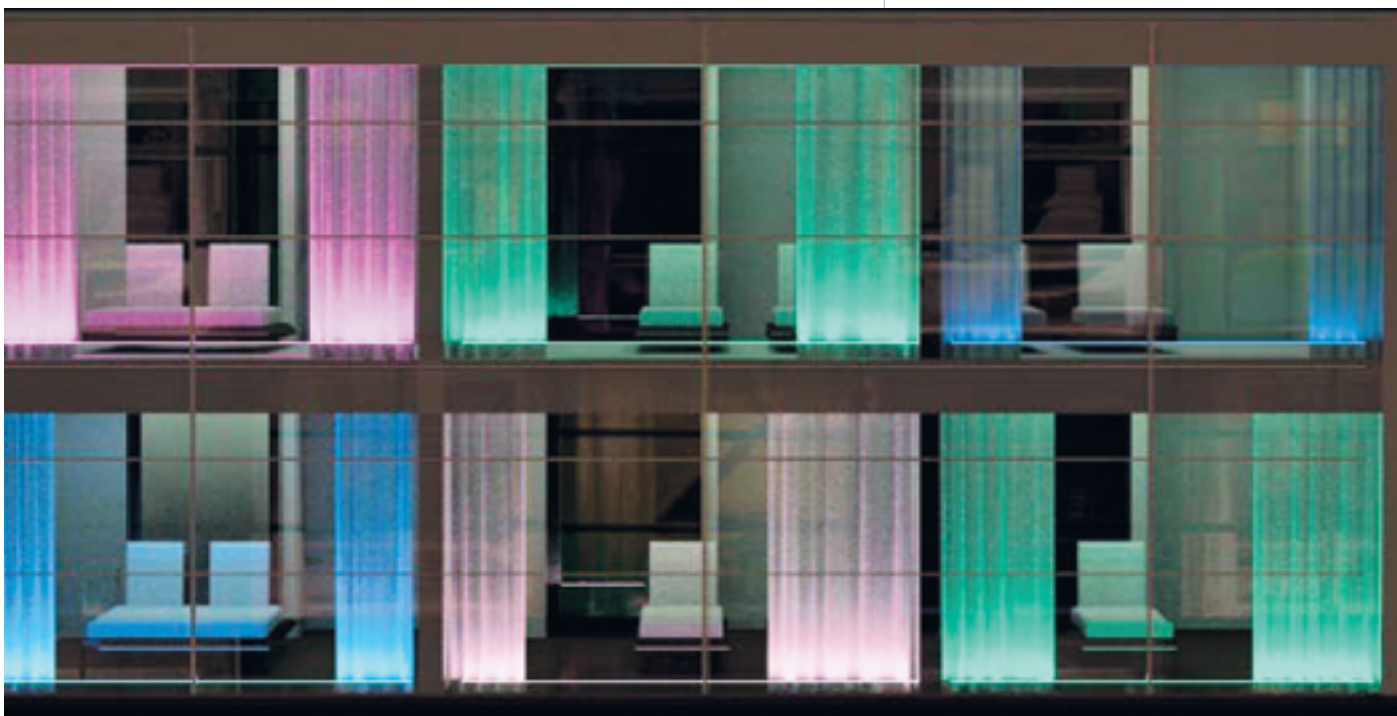
CITELUM - CRAI - EDF

MEDIATION - OPTIS - PIXIUM

SYNDICAT DE L'ÉCLAIRAGE.

aux Interviewés

à Jean-Marc CHARLES - Photographe



Simulation de la façade de l'hôtel RADISON® à Rome des architectes King & Roselli. Un des projets les plus contemporains à Rome. Ce projet de mise en lumière joue avec les éclairages de couleurs différentes qui jouent avec des matériaux modernes diffusant la lumière à chaque fenêtre. La simulation prend en compte la vision humaine nécessaire à l'obtention de résultats fiables.

Logiciel utilisé : SPEOS CAAV Based - OPTIS - www.optis.fr