

# POST TENEBRA LUX



LAURENT.KLING@epfl.ch,  
EPFL – STI

## INTRODUCTION

Dans notre société de l'apparence, il existe une quête incessante pour produire des images de plus en plus réalistes, intitulées photo-réalistes. Après une phase académique, où pratiquement tous les algorithmes de représentation actuellement utilisés ont été imaginés, on se trouve dans une période d'exploitation des capacités du processeur graphique (GPU, *Graphics Processors Unit*) qui atteignent des performances remarquables.

Comme souvent, ce n'est pas le public cible qui a permis de développer ces technologies :

- pour la vidéo VHS, ce n'est pas le cinéphile, mais c'est bien plus l'industrie des films X,
- pour les DVD, le même phénomène s'est reproduit,
- pour les cartes graphiques 3D, ce ne sont pas les technologies de représentation comme l'architecture, le dessin mécanique ou la biologie, mais l'industrie des jeux.

Actuellement, un processeur graphique présente des capacités de traitement vertigineuses dans une logique massivement parallèle.

Cette débauche de puissance n'intéresse pas uniquement les amateurs de jeu. Récemment, Google a racheté PeakStream pour sa technologie de virtualisation du calcul parallèle. Ainsi, il est possible de développer des algorithmes qui s'adaptent au matériel, processeurs mono & multi cœurs, y compris ceux inclus dans les cartes graphiques.

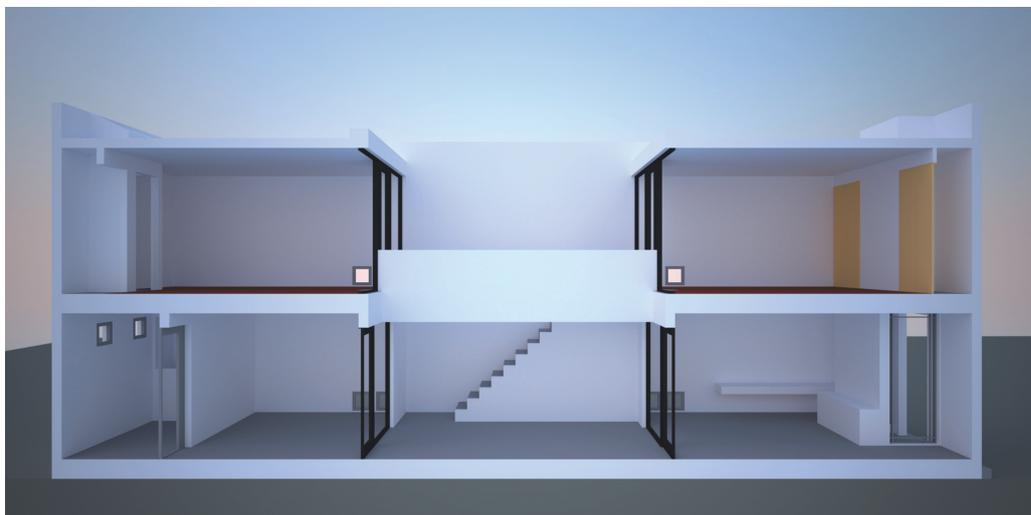
Si cette capacité de calcul est disponible, il peut être utile de se poser la question de la qualité des résultats obtenus.

Le cadre de cet article se situe dans le domaine de l'architecture, et plus particulièrement dans celui de sa représentation dans l'espace. Pour illustrer mon propos, j'ai utilisé une maquette numérique simplifiée, semblable à celle que l'on construirait en carton, d'un bâtiment remarquable du célèbre architecte japonais Tadao Ando.

## LA MAISON AZUMA DE TADAO ANDO

Dans le quartier de Sumiyoshi Ku, au centre d'Osaka, ville méridionale du Japon, cet édifice se situe sur un terrain particulièrement réduit de 49 m<sup>2</sup>. Cette minuscule parcelle étroite et allongée, 3.5m x 14.5m, a permis la construction d'une maison de 57m<sup>2</sup> habitable. Construit en béton armé en seulement 6 mois, de 1975 à 1976. La qualité architecturale a été récompensée par le prix de l'institut de l'architecture au Japon en 1979.

La maison est divisée en 3 volumes égaux, 2 blocs séparés par un patio, le tout isolé de l'environnement extérieur. L'unique ouverture sur l'extérieur est le ciel du patio central. Elle est composée de deux étages : le rez-de-chaussée, un patio intérieur et son escalier reliant deux espaces, le salon et une cuisine/salle de bain ; au 1er étage, le patio central avec sa coursière distribuant deux chambres. Sous une apparence simple, cette typologie représente un défi intéressant pour les algorithmes utilisés en image de synthèse.



PERSPECTIVE CENTRALE DE LA MAISON AZUMA DE TADAO ANDO

## DE L'ESPACE AU PLAN

Faute de média satisfaisant, la quasi-totalité des représentations de l'espace se fait à travers l'utilisation de la perspective ou des axonométries. Cette vision du monde consiste à transposer sur un espace plan, la feuille de papier, le tableau ou l'écran de l'ordinateur une vue réelle ou imaginaire. La perspective connue depuis la Renaissance, traitée par l'informatique est singulièrement simplifiée :

- un trou comme objectif,
- une netteté infinie,
- une exposition indéterminée,
- une vision limitée à un prisme rectangulaire.

## DE LA COULEUR À LA TEINTE

La peinture est le point de départ d'un artiste pour représenter le monde.

Pour les images de synthèse, la nature est imitée par la conjonction de trois éléments :

- la surface
  - une couleur uniforme
  - des caractéristiques *physiques* de celle-ci
- la lumière
  - une couleur
  - des caractéristiques géométriques
- la scène.

## UNE CAMÉRA VIRTUELLE

Ainsi, il est possible de *calculer* dans une scène définie, pour chaque pixel qui la représente, une teinte résultant de la projection de l'ensemble des surfaces la composant.

## LA LUMIÈRE

Au coeur des processeurs graphiques, les algorithmes maintenant câblés réalisent pour chaque pixel :

Sur un triangle (tout objet polygonal peut être décomposé en triangle)

- calcul de sa projection en plan,
- tri de sa profondeur dans l'espace,
- définition de la couleur de chacun de ses sommets,
- interpolation entre ses couleurs,
- application d'une texture,
- calcul des ombres (par le calcul des surfaces visibles vues avec chaque lumière),
- lissage du résultat.

Pour un jeu, ou une simulation guerrière qui vont souvent de pair, où on désire s'immerger dans un environnement, il est nécessaire de reproduire ce travail pour l'ensemble de la résolution de l'affichage, au minimum 15x par seconde.

Ainsi, le joueur, le soldat, ou accessoirement le mécanicien ou l'architecte peut se promener ou manipuler des objets sur un écran plan avec l'illusion de l'espace.

Les algorithmes utilisés pour calculer le résultat de la lumière sur une surface utilisent une approximation douteuse. Par simplification, on ajoute à chaque objet de la scène une intensité lumineuse qui se substitue à la pénombre.

Ainsi, l'éclairage naturel du soleil se décompose en :

- une lumière directionnelle à l'infini, qui est capable de projeter une ombre directe.
- une lumière ambiante arbitraire attribuée à l'ensemble des objets qui ne possèdent pas d'ombre ou de pénombre.

Si cette scène est reconnaissable, on peut difficilement la qualifier de réaliste.

En pratique, on utilise des artifices, comme le plaquage de texture, et la multiplication des sources lumineuses pour tenter de pallier ce manque originel.



PERSPECTIVE INTÉRIEURE, LUMIÈRE AMBIANTE ARBITRAIRE

## DE LA LUMIÈRE À LA PÉNOMBRE

Il existe heureusement des méthodes qui permettent de resituer à la scène sa complexité. Le calcul des inter réflexions lumineuses évite cet ajout arbitraire de lumière ambiante. Ainsi, l'espace sous une table ne passe plus brutalement de la clarté à l'ombre avec une limite précise, mais la pénombre peut s'établir et tenir compte de l'influence des surfaces entre elles. Un canapé rouge entouré de murs blancs apporte un peu de sa couleur et permet de créer une ambiance.

Historiquement, ces algorithmes sont issus de recherches militaires, comme évaluer l'énergie thermique émise par un char pour optimiser le capteur infrarouge d'un missile.

Heureusement, ces méthodes ont quitté ce monde guerrier. Maintenant, de nombreux outils gratuits ou commerciaux proposent cette possibilité de calculer la pénombre de manière réaliste. Intitulés radiosité, lancer de rayon inversé (*backward ray-tracing*) ou placage de photon (*photon-mapping*), ces logiciels offrent tous un résultat quasi physique. Leurs avantages sont indéniables malgré un temps de calcul important :

- rendu réaliste des lumières
- ombre et pénombre correctes
- absence d'astuces et de manipulations pour obtenir l'image.

Tirée d'une monographie sur Tadao Ando, l'image ci-contre, semble authentique. En pratique, deux détails attirent notre attention :

- un éclat inhabituel du plafonnier de la cuisine
- l'ombre de la coursive sur le sol.

Ces deux éléments trahissent un temps de pose excessif, confronté au même problème d'un espace clos, le photographe n'a pas hésité à surexposer sa pellicule pour obtenir cette image *réaliste*.

Avec un calcul qui tient compte des relations énergétiques des surfaces entre elles, la même perspective prend rapidement (un jour de calcul) un aspect nettement plus agréable dans l'image en bas à gauche.

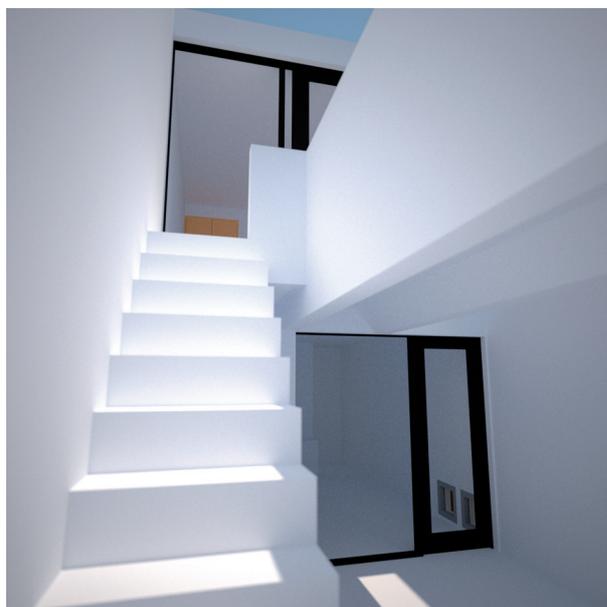
Pour l'image de droite, la peinture du sol en blanc permet une modification radicale du résultat. Dans ces deux images, l'unique source lumineuse est le soleil. Le changement de matériaux pour le sol et l'escalier explique cette différence de luminosité.



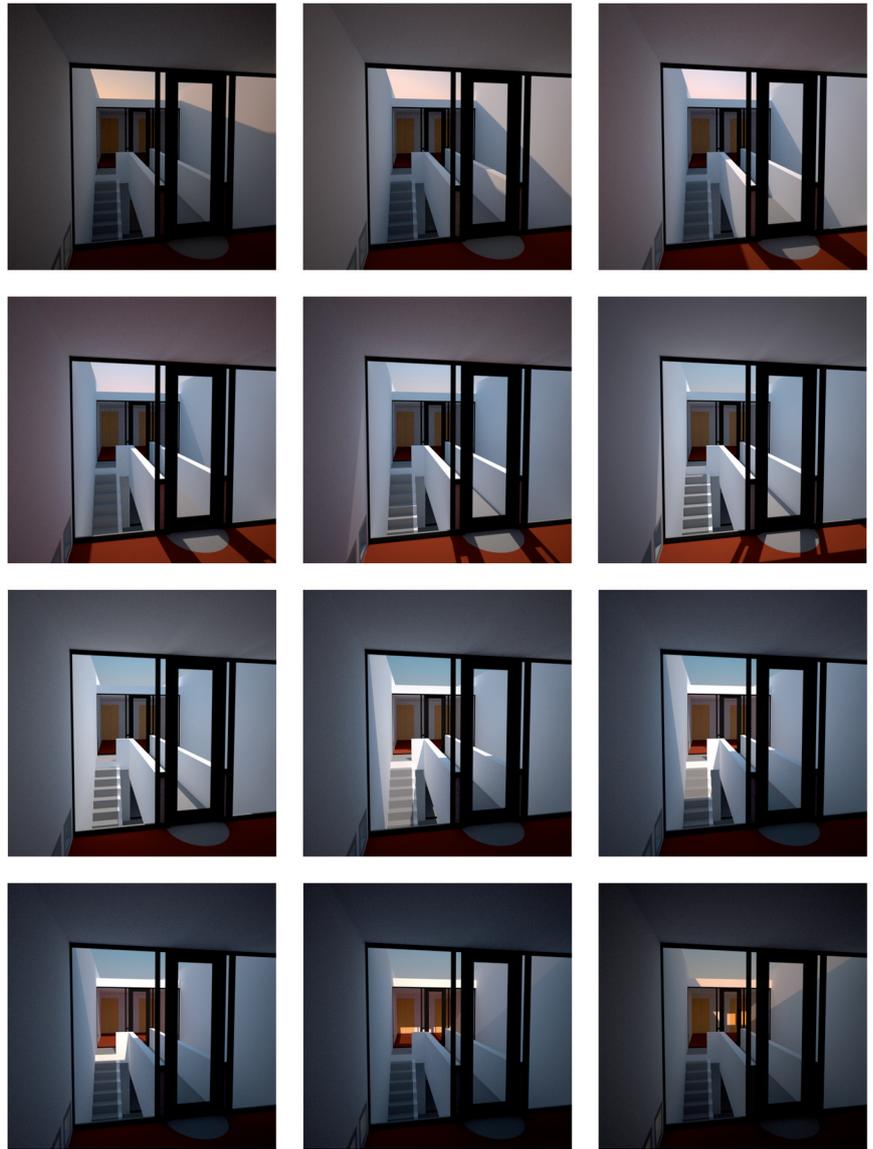
IMAGE PHOTOGRAPHIQUE SUREXPOSÉE, TADAO ANDO, COMPLETE WORKS, FRANCESCO, DAL CO, ISBN 071483471



PÉNOMBRE



PÉNOMBRE AVEC CHANGEMENT DE SOL



LA MATURETÉ DES IMAGES OFFRE DES SIMULATIONS DU PARCOURS DU SOLEIL. PAR EXEMPLE, VISUALISER LA QUALITÉ DE LA PÉNOMBRE DANS L'ENSEMBLE DE SA COMPLEXITÉ LE LONG D'UNE JOURNÉE

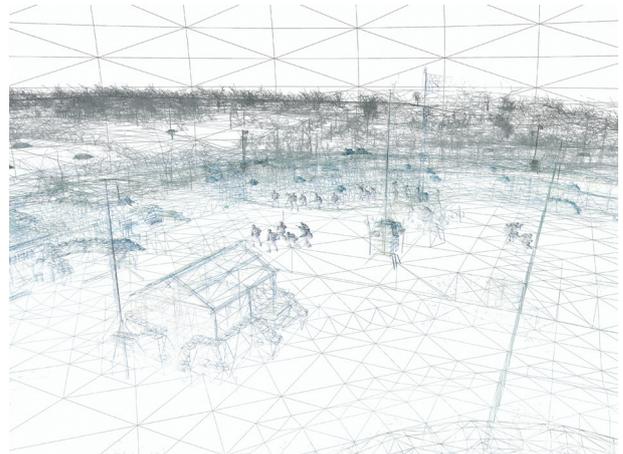
Cette technique s'applique facilement dans la réalité, pour éclaircir une pièce sombre, la peinture des murs en blanc et l'ajout d'un parquet brillant est généralement suffisant.

### **IMMERSION EN TEMPS RÉEL, UN MONDE DE TEXTURE**

Pour un joueur, le *réalisme* et la *fluidité* de l'animation sont des critères de choix pour l'évaluation de la qualité d'une carte graphique (GPU). Sur les images ci-dessous, on peut



*COMPANY OF HEROES*, IMAGE TEXTURÉE



*COMPANY OF HEROES*, IMAGE MODÈLE GÉOMÉTRIQUE

croire que la complexité du modèle est élevée, mais dans la réalité, il est basé sur la géométrie en fil de fer. Ce décalage est provoqué par l'emploi massif de textures précalculées pour offrir un *réalisme* impressionnant. Dans un jeu, plus de 80 % de la mémoire d'une carte graphique sont consacrés aux textures. Si les techniques de pénombre ne sont évidemment pas utilisées en regard de leur temps de calcul prohibitif. Il est amusant de constater que sans le savoir, les joueurs bénéficient quand même de ce type de résultat. Dans un espace, la radiositè divise la scène en zone rectangulaire, elle-même subdivisée récursivement en fonction de la lumière. Le résultat d'une scène calculée par radiosit e est un ensemble de surfaces colorées. Sans calcul d'éclairage suppl ementaire, il est facile de se déplacer en temps réel.

Appliquée à des textures, ou utilisée directement, cette méthode offre une touche de réalisme sans c ut immédiat, car l'ensemble du travail de conception s'est déroulée sur plusieurs années.

### PERSISTANCE DE LA VISION

Si les artifices employés dans la représentation informatique sont importants pour donner l'illusion de la réalité, on peut s'interroger sur cette course technologique. Sur un plan artistique, on ne peut qu'être ébloui par les oeuvres d'Andy Goldsworthy. Utilisant la nature dans sa singularité et dans son aspect éphémère, il est incontestablement un des chantres du *Land Art*. La nature et ses matériaux sont la base de son travail, la mise en scène, un regard acéré et comme résultat ultime fragment du souvenir, un montage photographique. Si on compare cette démarche aux images de synthèse généralement produites, la limite de la technologie apparaît brutalement.

Dans un autre registre, les photogrammes ou rayogrammes représentent la transformation directe d'une pellicule en objet photographié, [expositions.bnf.fr/objets/grand/187.htm](http://expositions.bnf.fr/objets/grand/187.htm).

  ces références prestigieuses, la vacuité des images informatiques apparaît rapidement. La quête du photo-réalisme nous interroge sur la pertinence de la figuration.

Auteur de science-fiction, Walter Jon Williams décrit parfaitement cette limite de la représentation vis-à-vis de l'émotion dans deux de ses ouvrages, parfaite lecture d'été:

*Ils se croient en sécurité parce qu'ils peuvent traiter des données plus vite que la concurrence. Mais les données ne sont jamais que des chiffres qui représentent une façon de voir les choses. Les Destinariens confondent cela avec la réalité alors que cela n'est pas la réalité. Ce n'est jamais que l'ordonnement de leurs préjugés.*

*Le souffle du cyclone, ISBN 2-207-30478*

*Cette v ture n'était pas uniquement décorative. Il n'en existait rien dans le monde réalisé - elle était purement onirochronique -, mais elle faisait la démonstration de ses talents de programmeur. La texture r che des brocarts devait différer sensiblement de la douceur du couvre-chef, des chatouillis de la plume, de la masse souple des cheveux cuivrés, de la chaleur pesante de la chair. L'aspect luisant des bottes cir es devait différer de l'éclat soutenu des bijoux, de la lueur joyeuse des yeux, du moiré délicat de la veste et du dessin tarabiscot  des fils dorés des brocarts. Les glands se reflétaient sur le cuir noir des bottes et projettaient des ombres complexes au gré de leurs mouvements.*

*Aristo , ISBN 2-227-23869* ■



  Andy Goldsworthy

BEECH LEAVES  
COLLECTED ONLY THE DEEPEST ORANGE  
FROM WITHIN THE UNDERGROWTH  
PROTECTED FROM SUNLIGHT  
UNFADING  
EACH LEAF THREADED TO THE NEXT  
BY ITS OWN STALK

*FEUILLES DE HÊTRE  
AVANT ABSORBÉ SEULEMENT  
L'ORANGE LE PLUS PROFOND  
DES BROUSSAILLES  
PROTÉGÉES DU SOLEIL  
NON LAVÉES  
CHAQUE FEUILLE ENL E   LA  
SUIVANTE PAR SA PROPRE TIGE*

HAMPSTEAD HEATH LONDON, 26.12.1985

HAND TO EARTH, Andy Goldsworthy Sculpture 1976-1990,  
ISBN 90128629



MAN RAY, RAYOGRAMMES 1930