
La chambre photographique

Cyril Pichard^{*,**} — Sylvain Michelin^{**}

* *DUBOI*

221 bis bld Jean Jaurès
92100 Boulogne
cyril@duboi.com

** *Equipe SISAR, Institut Gaspard Monge*

Université de Marne-la-Vallée
6 cours du Danube
77700 Serris
{pichard,michelin}@univ-mlv.fr

RÉSUMÉ. Les modèles de caméra existants ne sont pas adaptés à la simulation des caractéristiques optiques particulières de la chambre photographique. Nous proposons donc dans cet article deux nouvelles méthodes, fondées sur le fonctionnement de la chambre photographique, dans le but de recréer deux de ses effets optiques. La première méthode permet de réaliser des anamorphoses de manière interactive en utilisant simplement deux paramètres et peut remplacer la caméra OpenGL classique. La deuxième méthode repose sur une application du lancer de rayon distribué qui permet de générer du flou de profondeur de champ dont la répartition spatiale ne se fait plus frontalement.

ABSTRACT. The optical features of the view camera couldn't be simulated with existing camera models. In this paper, we propose two new methods based on the view camera characteristics, to simulate two particular optical effects. The first method deals with anamorphosis in real time. We extend the traditional OpenGL camera by adding only two new parameters. The second method is an application of the distributed ray-tracing. It allows to generate depth of field blur without frontal space distribution.

MOTS-CLÉS: Photographie, modèle de caméra, projection perspective, warping, lancer de rayon distribué, profondeur de champ, OpenGL.

KEYWORDS: Photography, camera model, perspective projection, warping, distributed ray-tracing, depth of field, OpenGL.

1. Introduction

La chambre photographique est un dispositif photographique rudimentaire destiné aux photographes professionnels. Elle permet néanmoins un contrôle plus grand de l'image que les appareils photographiques classiques, comme par exemple la possibilité de redresser les lignes fuyantes, ce qui est très utile en photographie d'architecture. Nous nous sommes donc fixé comme objectif de réaliser un modèle de caméra simulant deux des caractéristiques optiques les plus intéressantes de la chambre photographique : l'anamorphose et le changement d'orientation de la profondeur de champ. Pour cela, après avoir présenté et comparé la projection perspective au modèle de la lentille mince, nous donnons un état de l'art non exhaustif des modèles de caméra existants en synthèse d'image. Dans un deuxième temps nous décrivons les caractéristiques mécaniques et optiques de la chambre photographique. Ensuite nous proposons une méthode de déformation perspective rapide suivant le principe mécanique de la chambre photographique. Enfin, pour simuler une orientation du plan de netteté, nous proposons une modification de l'implémentation du lancer de rayon distribué qui prend en compte les orientations du plan film et du plan de netteté.

2. Les modèles de caméras

2.1. La caméra dite perspective

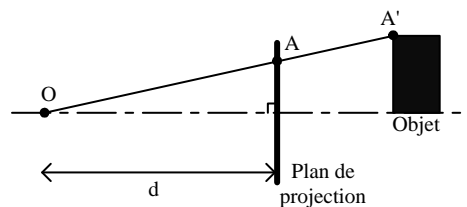


Figure 1. *Projection perspective*

En synthèse d'image, le rôle de la caméra est de retranscrire une scène tridimensionnelle sur un plan image. Les opérations effectuées par les caméras sont d'ordre géométrique, et font appel en grande partie à la géométrie projective. La caméra la plus utilisée est la caméra dite perspective. Elle consiste en l'application du principe de réduction perspective qui était utilisé autrefois par les peintres, à savoir la projection perspective. Ce principe permet de rendre de manière rationnelle la diminution ou l'agrandissement des choses qui résulte pour la vision humaine de leur éloignement ou de leur proximité. Ainsi, les premiers appareils photographiques étaient utilisés pour réaliser des perspectives dessinées car les supports sensibles à la lumière capables

d'enregistrer l'image n'existaient pas encore. La caméra perspective permettait donc de « dessiner » une image proche de celle perçue par la vision humaine. Maintenant ces images sont générées de manière informatique selon le même principe.

On retrouve la manière de calculer la projection perspective dans tous les livres de synthèse d'image [FOL 95, GLA 89, WAT 92]. Si l'on considère une projection perspective simple (pixel carrés, etc.), l'image $A(X, Y, Z, W)$ d'un point $A'(x, y, z, w)$, est donnée par la formule :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/d & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d.x/z \\ d.y/z \\ d \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

On remarque que tous les points sont positionnés dans le plan $z = d$ perpendiculaire à l'axe de visée. Ce plan est le plan de projection et la valeur d donne sa position sur l'axe de visée (cf. figure 1).

2.2. Lentille mince

En optique, le modèle le plus simple associé à un objectif de prise de vue est une lentille mince. La caméra perspective et la lentille mince n'ont pas les mêmes propriétés. L'image $A(X, Y, Z, W)$ d'un point $A'(x, y, z, w)$ par une lentille mince est donnée par la formule :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/f' & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (f'.x)/(z + f') \\ (f'.y)/(z + f') \\ (f'.z)/(z + f') \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

La valeur f' est une caractéristique physique de la lentille appelée distance focale. On voit donc avec cette formule que l'image de tous les objets de la scène n'est pas une image plane mais une image tridimensionnelle. En général, la lentille mince peut-être assimilée à une caméra perspective lorsque l'objet photographié est à une distance telle que la distance focale devienne négligeable : $z + f' \approx z$. Dans ce cas le plan de projection est positionné sur la distance focale $d = f'$, d'où la confusion généralement faite dans les livres de synthèse d'image entre la distance focale et la distance du plan de projection.

La prise de vue est réalisée en plaçant un plan dans la zone image de la lentille. L'image d'un point sur un plan est alors un point ou une tache (cf. figure 2). De cette manière, les optiques font apparaître des zones de netteté et des zones de flou. La taille de la tache de confusion dépend de l'ouverture de la lentille.

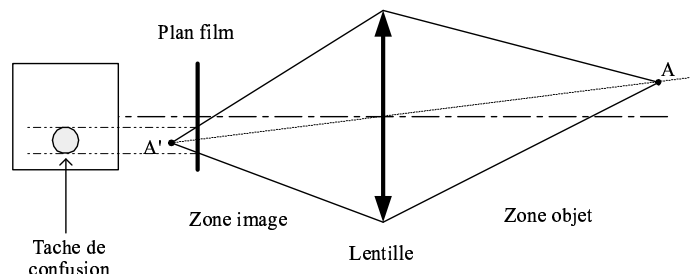


Figure 2. Principe du flou de profondeur de champ

2.3. Modèles de caméra évolués

Il est donc clair que la caméra perspective ne permet pas de simuler les caractéristiques visuelles des objectifs de prise de vue cinéma ou photo, que ce soit au niveau géométrique (distorsion optique) ou radiométrique (absorption des lentilles). Plusieurs travaux traitent de la simulation des effets visuels obtenus par les optiques. Ces recherches se divisent en deux grands axes : la simulation par un traitement ajouté à l'image de synthèse (post-traitement) et la simulation du parcours de la lumière dans l'objectif.

2.3.1. Simulation par post-traitement de l'image

Potmesil *et al.*, dans leur article publié en 1981 [POT 81], nous présentent une méthode pour générer du flou de profondeur de champ en appliquant une convolution dont les paramètres varient en fonction de la profondeur du point projeté. Les matrices de convolution utilisées dans ces travaux sont déduites du calcul des caractéristiques des taches de confusion créées au travers d'une lentille mince par des points situés à des intervalles donnés. Shinia [SHI 94] perfectionne la méthode en détournant l'algorithme du lancer de rayon pour connaître les pixels qui vont être masqués par d'autres.

2.3.2. Simulation du parcours de la lumière

Acquisto et Groller [ACQ 93] proposent des caméras alternatives (hémisphérique, cylindriques) en utilisant le lancer de rayon et en modifiant la forme des plans de projections. Ces caméras alternatives permettent par exemple de simuler des caméras hémisphériques, mais aussi les défauts d'aplanétisme des systèmes optiques.

Cook, Porter et Carpenter [COO 84] présentent en 1984 une méthode issue de l'anti-aliasing en lancer de rayon pour simuler notamment du flou de profondeur de champ et du flou de mouvement. Cette méthode porte le nom de lancer de rayon distribué. Leur idée est d'utiliser les rayons servant à l'anti-aliasing pour simuler le faisceau de lumière qui arrive sur un point image. L'algorithme est décrit dans l'encadré ci-dessous. En pratique, on utilise le plan de projection comme plan de netteté et

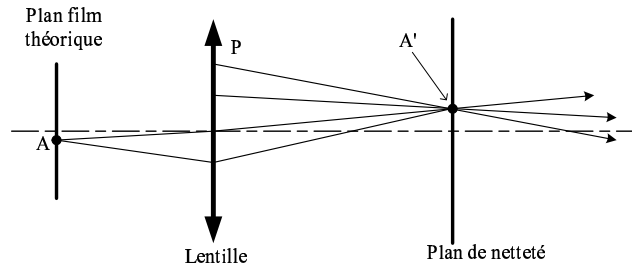


Figure 3. Lancer de rayon distribué

la notion de distance focale disparaît complètement ou est assimilée à la distance de mise au point. Cela provient du fait que les plans (projection, netteté) sont tous perpendiculaires à l'axe optique et que l'algorithme permet de placer le plan de netteté à n'importe quelle position sur l'axe.

Algorithme 1 Lancé de rayon distribué (cf. figure 3)

pour tous les points A du plan film associés aux pixels de l'image **faire**
 trouver l'image A' du point A par la lentille sur le plan de netteté
 pour tous les points P choisis aléatoirement sur la surface de la lentille **faire**
 envoyer un rayon PA'
 fin pour
 la couleur du pixel associé au point A est la moyenne des couleurs trouvées par
 tous les rayons envoyés
fin pour

Kolb, Mitchell et Hanrahan [KOL 95] nous présentent un modèle de caméra qui est censé simuler les caractéristiques physiques de l'objectif. Leur modèle repose sur la simulation physique du parcours réel de la lumière entre différentes lentilles constituant l'objectif. Leur modèle permet de simuler avec précision la géométrie et la radiométrie de l'image formée, même s'il comporte des simplifications importantes comme la réflexion entre lentille jugée nulle. De plus elle nécessite un temps de calcul relativement important.

Enfin, Haerberli et Akelay [HAE 90] présentent un moyen de réaliser du flou de profondeur de champ avec OpenGL [NEI 99]. Cette méthode repose sur l'accumulation d'images prises de différents points de vue proches. Grâce à l'accélération matérielle, on peut obtenir une simulation de flou de profondeur de champ de manière interactive. Néanmoins, leur méthode ne s'appuie sur aucun modèle physique. Heidrich, Slusallek, Seidel [HEI 97] étendent ce principe à la simulation de n'importe quel type d'optique en calculant précisément les images accumulées.

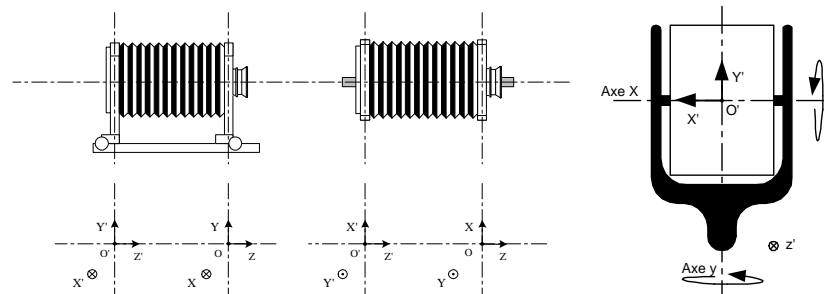


Figure 4. La chambre photographique vue de coté, de haut et détail du corps arrière

3. La chambre photographique

3.1. Présentation

La chambre photographique est l'appareil le plus rudimentaire en photographie après le sténopé. Elle est simplement constituée de deux corps : le corps avant, où repose l'objectif et le corps arrière où va être placée la surface sensible à la lumière, qui va enregistrer l'image (généralement de la pellicule photographique ou un capteur électronique). Les deux corps sont montés mécaniquement sur un support monorail sur lequel ils peuvent se déplacer l'un par rapport à l'autre. Un soufflet étanche à la lumière relie le corps avant et le corps arrière. Le corps arrière comporte généralement un verre dépoli où apparaît l'image inversée du sujet générée par l'objectif. Le verre dépoli va servir à régler l'image et à faire la mise au point, avant de recevoir la surface sensible à la lumière. La chambre photographique permet une meilleure flexibilité du contrôle sur l'image finale.

3.2. Caractéristiques mécaniques

Les chambres photographiques professionnelles possèdent un certain nombre de caractéristiques mécaniques qui les différencient des appareils photographiques classiques. Les corps avant et arrière de la chambre ont la capacité de pivoter autour de deux axes, l'un vertical, l'autre horizontal. Ils peuvent aussi être traduits le long de ces deux axes. La chambre photographique permet donc de décentrer et de basculer le plan film ainsi que l'optique utilisée en combinant ces mouvements. Dans cet article, nous allons exclusivement nous intéresser aux bascules du plan film de la chambre. L'angle de rotation autour de l'axe Y est ϕ et l'angle de rotation autour de X est θ , comme présenté dans la figure 5. Il faut aussi noter que l'axe X va suivre les rotations imposées par l'axe Y , ce qui donne l'ordre des rotations dans la transformation finale du plan $T = R_y R_x$.

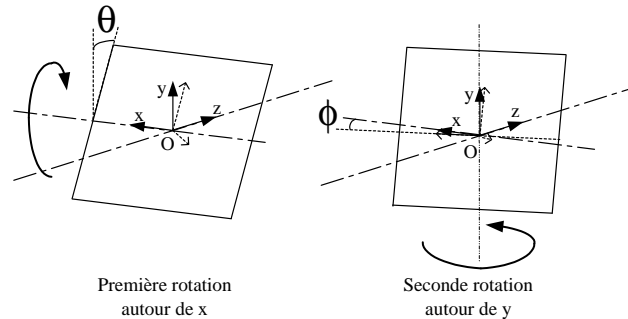


Figure 5. Rotations du plan film

3.3. Caractéristiques optiques

Les mouvements des deux corps influencent l'image résultante. Ils jouent sur l'orientation de la profondeur de champ, l'impression de perspective, le recadrage, l'anamorphose et la mise au point. Le tableau suivant résume les effets visualisés lors du déplacement des corps de la chambre en fonction du mouvement appliqué :

| | Corps avant | Corps arrière |
|-----------------|----------------------------|------------------------|
| rotation X/Y | profondeur de champ | p. d. c. + anamorphose |
| translation X/Y | perspective (point de vue) | recadrage |
| translation Z | perspective (point de vue) | mise au point |

Le déplacement en translation du corps avant implique un changement de point de vue et donc un changement de perspective, ce qui revient à déplacer l'appareil. Les bascules du corps avant vont avoir un effet sur l'orientation du plan de netteté et donc sur la profondeur de champ mais le point de vue ne change pas. La bascule du corps arrière permet de changer l'impression de perspective en anamorphosant l'image, et de cette manière de corriger les lignes fuyantes, par exemple dans des scènes architecturales (cf. figure 8). De plus, la bascule du corps arrière, comme celle du corps avant va avoir une influence sur l'orientation du plan de netteté. Le décentrement du corps arrière (translation X/Y) permet de recadrer dans l'image et par exemple de prendre des photographies en face d'un miroir sans avoir le reflet de l'appareil [TIL 92]. Avec les appareils photographiques classiques, le plan de netteté est frontal. La chambre permet de changer l'orientation du plan de netteté et par exemple d'avoir une profondeur de champ verticale (cf. figure 11). Le déplacement sur l'axe des Z du corps arrière permet de faire la mise au point. Lors d'une prise de vue les photographes utilisent la règle de Schempflug [STR 86] pour maîtriser l'orientation du plan de netteté.

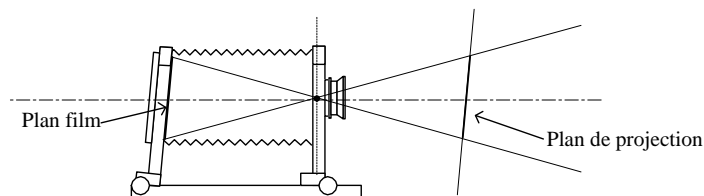


Figure 6. *Plan film et plan de projection basculés*

Cette règle dit que le plan de netteté et le plan film s'intersectent en une droite qui appartient au plan de la lentille.

4. Notre méthode de déformation perspective rapide

Dans cette partie, nous proposons une méthode simple qui permet de simuler les anamorphoses dues aux rotations du corps arrière de la chambre de manière interactive avec OpenGL. Nous montrons comment une rotation du plan peut être décomposée en une translation et une homothétie du plan de projection et un changement d'axe de visée en nous fondant sur le fonctionnement de la chambre photographique. Il serait possible d'utiliser une transformation perspective en post-traitement. Néanmoins, notre méthode apporte une meilleure qualité de rendu sans traitement supplémentaire et une utilisation plus pratique nécessitant seulement le réglage de deux paramètres.

4.1. Hypothèse

Avant tout, on fait l'hypothèse que la chambre photographique peut être modélisée par une caméra perspective et que le plan de projection est le symétrique du plan film par le point nodal de l'optique qui devient le centre de projection. Les mouvements appliqués au plan film sont donc appliqués au plan de projection, comme on peut l'observer dans la figure 6.

4.2. Principe proposé

Notre méthode part d'une constatation : basculer le plan de projection revient à faire une nouvelle projection perspective simple en changeant l'axe de visée et avec une fenêtre de projection décentrée par rapport à ce nouvel axe, comme l'illustre la figure 7. En effet, lorsque l'on fait pivoter le plan de projection, on voit apparaître une nouvelle projection perspective avec un axe perpendiculaire au plan de projection basculé et une distance de projection plus courte sur ce nouvel axe. Pour inclure cette

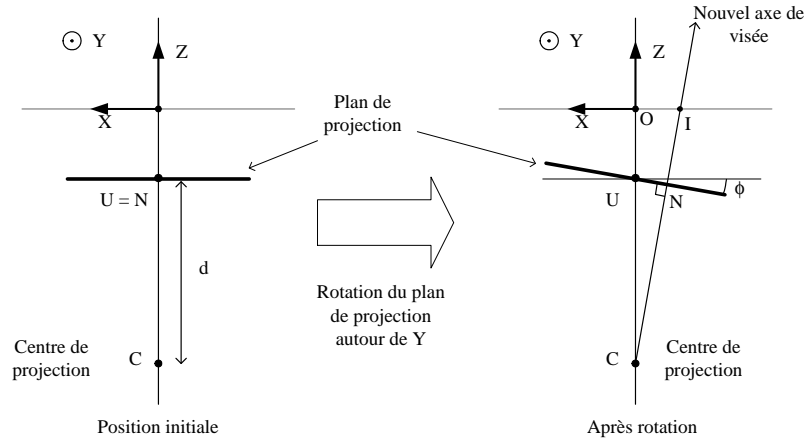


Figure 7. Nouvelle projection perspective

méthode dans OpenGL, il faut modifier l'étape de visualisation qui se décompose en deux parties, la transformation de visée, et la projection perspective.

4.2.1. Correction de la transformation de visée

La transformation de visée consiste à placer et orienter la caméra dans la scène. Le nouvel axe de visée est perpendiculaire au plan basculé. On doit donc ajouter à la rotation de visée initiale deux autres rotations correspondant aux rotations du plan de projection.

La transformation finale est alors $T = R_y R_x$ avec $R_y = \begin{bmatrix} \cos\phi & 0 & \sin\phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\phi & 0 & \cos\phi \end{bmatrix}$,

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

4.2.2. Nouvelle transformation perspective

Le plan de la nouvelle projection perspective n'est plus à la même position sur l'axe. Sa nouvelle position \overline{CN} sur l'axe se déduit facilement par le calcul vectoriel et on trouve $\overline{CN} = d \cdot \cos\phi \cdot \cos\theta$. Le centre du plan de projection a lui aussi changé de position. Le centre de la fenêtre de projection a pour coordonnées dans le nouveau repère : $\overline{UN} = (-d \cdot \sin\phi, d \cdot \cos\phi \cdot \sin\theta, 0)^T$.

4.2.3. Implémentation

Avec les valeurs trouvées précédemment, on peut modifier n'importe quel code OpenGL pour intégrer les bascules du corps arrière. Un exemple de simulation des bascules est donné ci-dessous. Les décentrement additionnels du plan film arrière sont triviaux à implémenter, il suffit de rajouter un décalage dans la fonction `glFrustum()`.

```
float teta; // angle de bascule autour de X
float phi;  // angle de bascule autour de Y
float d;    // position du plan sur l'axe

main()
{
  ....
  /* Modification de la transformation perspective */
  glMatrixMode(GL_PROJECTION);
  glFrustum( -0.5-d*sin(phi), 0.5-d*sin(phi),
            -0.5+d*cos(phi)*sin(teta), 0.5+d*cos(phi)*sin(teta),
            d*cos(phi)*cos(teta),
            d*1000 );

  /* Modification de la direction de visée */
  glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
  glRotated(teta,0.0,1.0,0.0);
  glRotated(phi,1.0,0.0,0.0);

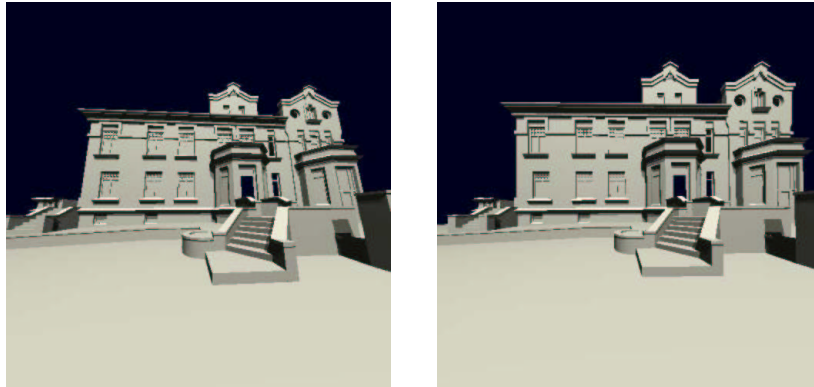
  /* La scene */
  glutSolidTeapot(0.5);
  ....
}
```

4.3. Résultats

La première image correspond à une prise de vue classique en contre-plongé. Le bâtiment présente des lignes fuyantes que l'on peut corriger en réglant l'orientation du plan de projection. Dans la deuxième image, le plan de projection est parallèle à la façade du manoir. Les lignes fuyantes ne s'intersectent plus. Le manoir donne alors une impression de stabilité, impression utilisée en photographie d'architecture pour mettre en valeur les bâtiments.

5. Orientation du plan de netteté

Nous avons vu précédemment que les rotations des corps de la chambre ont aussi une influence sur l'orientation du plan de netteté, ce qui permet d'avoir une profondeur de champ qui n'est plus frontale. Notre but est donc de simuler un flou de profondeur



(a) plan de projection non basculé

(b) plan de projection basculé

Figure 8. Exemple de redressement des lignes fuyantes avec OpenGL

de champ non perpendiculaire à l'axe optique, comme le ferait la chambre photographique.

5.1. Principe

Avec le modèle simple de caméra perspective, on ne peut pas générer du flou de profondeur de champ. Pour prendre en compte les effets de flou dus au basculement, nous avons utilisé le principe du lancer de rayon distribué. Malheureusement l'algorithme du lancer de rayon distribué présenté dans [COO 84] donne la distance du point de mise au point sur l'axe en fonction du plan film en supposant que ces deux plans sont perpendiculaires à l'axe optique. Les formules ne sont donc pas adaptées au basculement des plans.

L'idée qui consiste à utiliser les rayons de l'antialiasing pour simuler le faisceau reste néanmoins valable, et il suffit alors de calculer pour chaque point A du plan film son image A'' par la lentille à partir de la formule 2 et intersecter tous les rayons secondaires vers le point image A'' . Comme l'utilisation d'un plan film n'est pas pratique en synthèse d'image, et comme il est plus simple d'utiliser un plan de projection, nous avons donc réalisé une modification simple de l'implémentation du lancé de rayon distribué permettant l'utilisation du plan de projection basculé. Nous faisons à nouveau l'hypothèse que le plan de projection est le symétrique du plan film par rapport au centre de projection, ce qui revient à dire que basculer le plan film est équivalent à basculer le plan de projection. Il est alors important de noter que le plan de projection et le plan de netteté ne se correspondent pas du tout. Ce sont deux plans différents, comme l'illustre la figure 9.

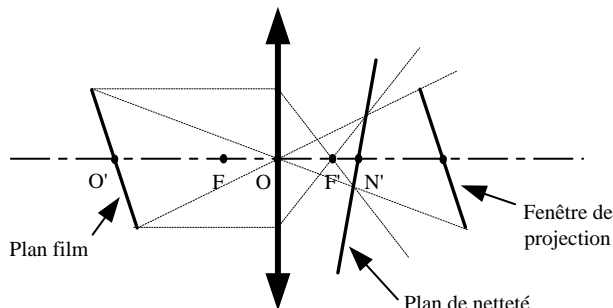


Figure 9. Différence entre plan de projection et plan de netteté

Dans l'implémentation classique du lancer de rayon distribué [GLA 89], le vecteur $\vec{OA'}$ est connu et le point A' est le point de netteté où vont converger tous les rayons secondaires. Dans notre implémentation modifiée, les rayons vont s'intersecter en A'' (cf. figure 10). On remarque alors que $\vec{OA''} = \alpha \vec{OA'}$ et $\vec{PH} = \alpha \vec{OA'} = \vec{OG} + \beta \vec{GF'}$. Ces deux relations nous permettent de trouver α :

$$\alpha = \left| \frac{z_{f'}}{z_{a'} - z_{f'}} \right| \text{ si } z_{a'} \neq z_{f'} \text{ sinon les rayons secondaires envoyés suivent la direction } \vec{OA'}$$

On trouve alors chaque vecteur secondaire $\vec{PA''}$ avec la relation $\vec{PA''} = \vec{PH} - \vec{OP}$ avec $\vec{PH} = \alpha \vec{OA'}$.

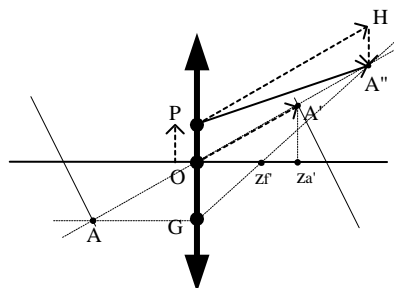
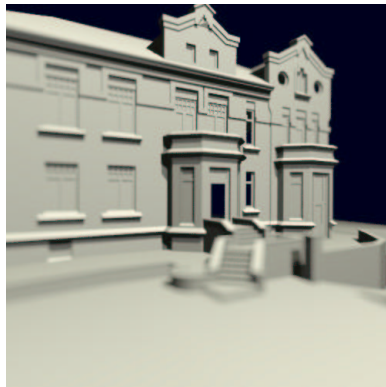


Figure 10. Construction géométrique

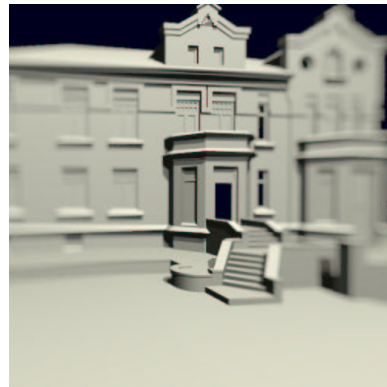
Les rayons secondaires sont envoyés d'une surface de diamètre $D = \frac{f'}{n}$ (n étant l'indice de diaphragme) et leurs points de départ sur la surface sont choisis aléatoirement en suivant une distribution de Poisson. Le choix de la distribution de Poisson est discuté dans [GLA 89].

La méthode du lancer de rayon distribué modifié a plusieurs avantages : l'anamorphose due à la bascule arrière est simulée, lorsque la mise au point est proche, on observe un agrandissement du champ de vision, comme avec une optique classique, et enfin la profondeur de champ est bien respectée. Ces propriétés sont principalement dues à l'utilisation de la notion de distance focale. Malheureusement le basculement des plans implique une divergence plus grande des rayons, ce qui oblige à en envoyer beaucoup plus et de ce fait augmente le temps de calcul déjà important. (Environ trois minutes par images de 800x600 sur un athlon 1,2 Ghz avec environ 80 rayons envoyés par pixel.)

5.2. Résultats



(a) plan de projection non basculé



(b) plan de projection basculé

Figure 11. Exemple d'orientation du plan de netteté

Pour la scène de la figure 11, nous avons basculé le plan film de quelques degrés autour de l'axe des Y sur la deuxième image. On observe l'anamorphose caractéristique du basculement et le plan de netteté qui est complètement basculé lui aussi. La profondeur de champ s'étale presque horizontalement, comme nous le montre les escaliers qui apparaissent nets sur la deuxième image. De cette manière, il est possible de mettre en valeur certaines parties d'un bâtiment ou d'un objet.

6. Conclusions et travail futur

Nous avons présenté deux méthodes pour simuler deux des caractéristiques visuelles de la chambre photographique qui sont l'anamorphose et le changement d'orientation du plan de netteté. L'anamorphose peut être réglée de manière interactive en réalisant une modification simple de n'importe quel code source OpenGL, l'avantage étant de pouvoir utiliser seulement deux paramètres pour corriger la perspective. De cette manière, on peut corriger les perspectives relativement facilement. On pourrait aussi utiliser cette méthode pour corriger manuellement les perspectives des images projetées par les projecteurs vidéo. La deuxième méthode présentée s'appuie sur le modèle de la lentille mince et le lancé de rayon distribué. Elle permet de simuler réellement le comportement d'une optique simple avec n'importe quelle orientation du plan film et a l'avantage de mettre en avant les différences existant entre le plan de projection et le plan de netteté qui sont généralement confondus dans beaucoup de livres portant sur la synthèse d'image. Cette méthode peut être aussi utilisée pour simuler les objectifs cinéma à bascule et décentrement qu'utilisent souvent les réalisateurs de publicité et de clips musicaux. On pourrait alors incruster des images de synthèse dans les séquences comportant des effets de flous « alternatifs ». Néanmoins, au vu des temps de calcul importants liés au lancé de rayon distribué, il serait intéressant d'adapter le principe de Heidrich *et al.* [HEI 97] à des plans de projections quelconques afin de simuler quasiment en temps réel un flou non perpendiculaire à l'axe optique.

7. Bibliographie

- [ACQ 93] ACQUISTO P., GRÖLLER E., « A Distorsion Camera for Ray-Tracing », *Visualization and intelligent design in engineering and Architecture*, Computational Mechanics Publications, Elsevier, 1993, p. 105-118.
- [COO 84] COOK R., PORTER T., CARPENTER L., « Distributed Ray Tracing », *Proceeding of SIGGRAPH 84*, Computer Graphics, Boston, 1984, ACM Press, p. 137-144.
- [FOL 95] FOLEY J., DAM A. V., *Introduction à l'infographie*, Addison-Wesley France, Paris, 1995, Traduction de *Introduction to computer graphics*, Addison-Wesley, 1994.
- [GLA 89] GLASSNER A., *An introduction to ray-tracing*, Academic Press, London, 1989.
- [HAE 90] HAEBERLI P., AKELEY K., « The accumulation Buffer : Hardware Support for High-Quality rendering », *Proceeding of SIGGRAPH 90*, vol. 24 de *Computer Graphics*, Boston, August 1990, ACM Press, p. 309-318.
- [HEI 97] HEIDRICH W., SLUSALLEK P., SEIDEL H., « An Image-Based Model for Realistic Lens Systems in Interactive Computer Graphics », *Graphic Interface 97*, Wayne A. Davis and Marilyn Mantei and R. Victor Klassen, 1997, p. 68-75.
- [KOL 95] KOLB C., MITCHELL D., HANRAHAN P., « A Realistic Camera Model for Computer Graphics », *Proceedings of SIGGRAPH 95*, vol. 29 de *Computer Graphics*, Boston, 1995, ACM Press, p. 317-324.
- [NEI 99] NEIDER J., DAVIS T., WOO M., *OpenGL Programming Guide : the Official Guide to Learning OpenGL, version 1.2*, Addison-Wesley Publishing Company, New York, 1999.

- [POT 81] POTMESNIL M., CHAKRAVARTY I., « A Lens Aperture Camera Model for Synthetic Image Generation », *Proceedings of SIGGRAPH 81*, vol. 15 de *Computer Graphics*, Boston, 1981, ACM Press, p. 297–305.
- [SHI 94] SHINIA M., « Post-filtering for Depth of Field Simulation with Ray Distribution Buffer », *Proceedings of Graphics Interface 94*, Canadian Computer Communications Society, 1994, p. 39–66.
- [STR 86] STROEBEL L., *View camera technique, 5th Edition*, Focal Press, Boston, 1986.
- [TIL 92] TILLMANNS U., *Bases et applications Grand format créatif*, Sinar Edition, Feuerthalen, Allemagne, 1992. Traduction de l'allemand *Kreatives Grossformat : Grundlagen und Anwendung*, Sinar Edition, Feuerthalen.
- [WAT 92] WATT A., WATT M., *Advanced Rendering and Animation Techniques : theory and practice*, Addison-Wesley publishing company, ACM Press, 1992.