



**HAL**  
open science

# Path Tracing optimisé pour le rendu de séquences d'images de scènes éclairées par une flamme

Cyril Briquet, Christophe Renaud, François Rousselle

## ► To cite this version:

Cyril Briquet, Christophe Renaud, François Rousselle. Path Tracing optimisé pour le rendu de séquences d'images de scènes éclairées par une flamme. 31èmes Journées Française d'Informatique Graphique, Nov 2018, Poitiers (FR), France. hal-04251926

**HAL Id: hal-04251926**

**<https://hal.science/hal-04251926>**

Submitted on 13 Dec 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Path Tracing optimisé pour le rendu de séquences d'images de scènes éclairées par une flamme

C. Briquet<sup>1</sup>, C. Renaud<sup>1</sup> et F. Rousselle<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>LISIC, Université du Littoral Côte d'Opale

<sup>2</sup>IRHiS-UMR 8529, Université de Lille, CNRS

---

## Résumé

*La synthèse d'images photoréalistes se basant sur des flammes est un domaine de recherche et d'application intéressant qui permet, par exemple, de simuler l'éclairage d'une scène pour des besoins de restitutions historiques. La particularité des flammes est leur aspect dynamique et donc l'évolution de l'éclairage produit au cours du temps. Cependant le calcul d'une séquence d'images peut s'avérer long, c'est pourquoi nous présentons une méthode permettant d'accélérer ces calculs. En se basant sur la similarité des flammes entre des images, nous proposons une réutilisation temporelle de différents calculs afin d'accélérer le calcul d'une séquence d'images moyennant une perte de qualité.*

---

**Mots clé :** Synthèse d'images, Path Tracing, Réutilisation de chemins, Eclairage par des flammes, Classification de flammes

## 1. Introduction

L'éclairage d'une scène par des flammes est un domaine déjà bien étudié [NFJ02] [PP06] [VHS13]. L'un des intérêts des flammes est leur aspect dynamique et donc l'évolution de l'éclairage d'une scène au cours du temps. Si l'on souhaite faire le rendu d'une séquence d'images avec un algorithme de type Path Tracing, les temps de calcul vont être importants dès lors que les images sont calculées de manière indépendante. Malgré l'aspect dynamique de la combustion on peut noter que certaines images où les flammes se "ressemblent" présentent néanmoins un éclairage similaire.

C'est pourquoi nous proposons une méthode d'accélération de calcul d'une séquence vidéo en Path Tracing, basée sur la réutilisation de calculs de flammes similaires. Nous verrons dans la partie 3.1 le fonctionnement de notre méthode, puis dans la partie 4 quels résultats nous avons obtenus en matière d'accélération mais aussi de dégradation pour le calcul d'une séquence d'images.

## 2. Travaux précédents

La réutilisation de calculs pour accélérer la synthèse d'une séquence d'images est un domaine déjà largement étudié dans la littérature. [BSH02] propose une première approche de réutilisation de chemin pour le rendu d'une image utilisant un algorithme de monte-carlo. [CSH08] reprend ce principe pour des algorithmes de radiosité. Cette méthode est

 tendue par [SC04] afin de réduire le temps de calcul et diminuer les artéfacts temporels d'une séquence d'images. Pour le rendu basé sur monte-carlo, [XS07] propose une nouvelle façon de réutiliser les chemins afin de réduire les artéfacts produits par les méthodes précédentes.

[BPE17] combine la réutilisation de chemins et le rendu basé sur les gradients pour éliminer les artéfacts innés à la réutilisation de chemins, et généralise cette réutilisation pour supporter des scènes arbitraires. [SH04] montre qu'il est possible de réutiliser totalement les chemins pour le calcul d'images dont les sources lumineuses sont animées. Dans le cadre de l'animation de caméra, [MFSSK06] présente une méthode non-biaisée de réutilisation d'image via la reprojection des premières intersections des rayons primaires.

## 3. Accélération du calcul d'une séquence d'image

### 3.1. Notre méthode

Notre méthode a pour but d'accélérer le calcul d'une séquence temporelle d'images avec un algorithme de path tracing, pour une scène   géométrie statique, avec une caméra fixe ne contenant qu'une seule flamme dynamique comme source de lumière. Les données des flammes sont issues d'une simulation physique [TP18] où à chaque instant nous avons les informations nécessaires sous forme d'une grille de voxels.

Il est naturel de penser que deux objets lumineux identiques (flammes, néons, ampoules, ...) produisent le même éclairage. En se basant sur ce fait nous souhaitons réutiliser les calculs d'une image de la séquence pour d'autres qui correspondent à un instant de la simulation où les flammes

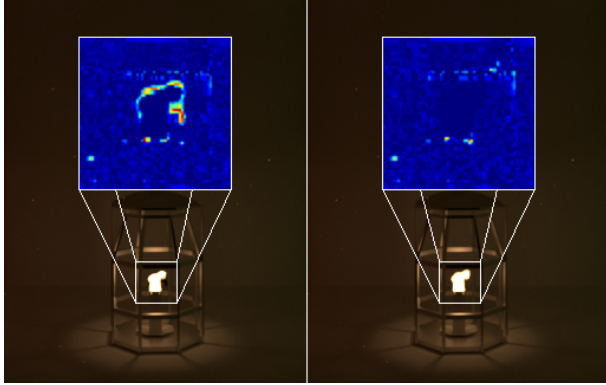


Figure 1: Deux images d'une séquence calculée avec notre méthode, à gauche mode 2, à droite mode 3. On peut noter sur les zooms de différences avec la référence, le problème de contour de la flamme induit par le mode 2 mais corrigé par le mode 3 (bleu : différences faibles, rouges : différences importantes). Algorithme de classification = K-médoïdes, Nombre de classes : 30.

sont similaires. Notre méthode se décompose donc en deux étapes, la classification des flammes suivant leur similarité, et le calcul des images de la séquence en fonction de cette classification.

La classification des flammes se fera à partir d'une mesure de similarité que nous définirons en 3.2. Elle permettra de regrouper les images dont l'éclairage est proche pour la phase de calcul.

Les images appartenant à un même groupe seront calculées conjointement. Sous l'hypothèse que l'éclairage issu des différents états de la flamme présente dans la scène est similaire, un chemin généré pour une image du groupe sera réutilisé pour les autres images de ce groupe. Nous avons étudié quatre modes de réutilisation :

- Mode 1 : Réutilisation complète du chemin et de l'illumination pour chacune des images du groupe, ce qui aura pour conséquence que toutes les images du même groupe seront identiques ;
- Mode 2 : Si le rayon primaire intersecte la première flamme du groupe avant de rebondir dans la scène, alors (i) un point P situé sur ce rayon à l'intérieur de la flamme est choisi et sera utilisé pour toutes les images du groupe et (ii) la luminance émise par ce point est calculée indépendamment pour chaque image du groupe. Sinon utilisation du Mode 1 ;
- Mode 3 : Si le rayon primaire intersecte la flamme avant de rebondir dans la scène, alors l'échantillonnage de la flamme est calculé indépendamment pour chaque image du groupe courant, sinon utilisation du Mode 1. Le contour de chaque flamme du groupe courant sera donc conservée (Fig. 1) ;
- Mode 4 : Utilisation du mode 3 mais avec l'estimation de l'éclairage directe lors du premier rebond du rayon dans la scène calculée indépendamment pour chaque image du groupe courant (Fig. 2).

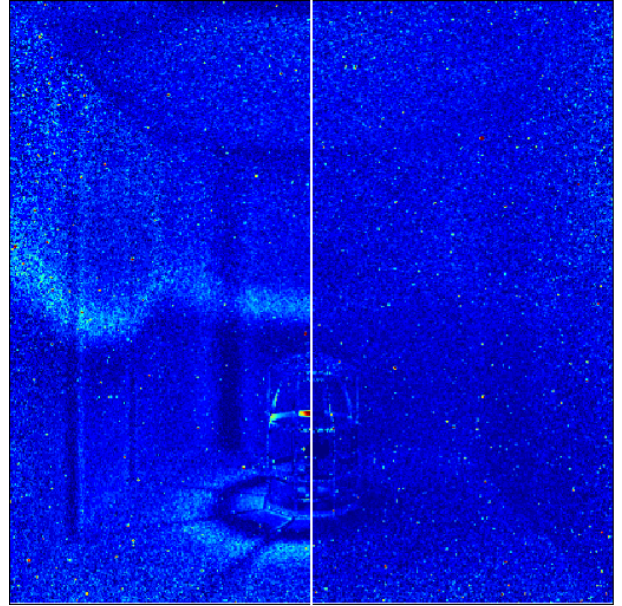


Figure 2: Images de différences avec la référence de deux images d'une séquence calculée avec notre méthode, à gauche mode 3, à droite mode 4. On peut noter que le mode 4 corrige une bonne partie de l'erreur d'éclairage induite par les modes précédents. Algorithme de classification = K-médoïdes, Nombre de classes : 10.

### 3.2. Similarité entre deux flammes

Dans un milieu où l'équilibre thermodynamique local prévaut (ce qui est le cas pour une flamme), le rayonnement lumineux est supposé résulter de l'agitation thermique, directement indiquée par la température [RHC95]. Les ombres projetés par la flamme seront fonction de la forme de la flamme.

La similarité des flammes peut donc être définie par leur forme et leur température. Seules les températures issues des voxels faisant partie de la flamme sont extraites de la simulation, prenant ainsi en compte sa forme. Nous proposons ensuite d'utiliser la somme des différences au carré (*SSD*) comme mesure de similarité. Soit  $T(a, x, y, z)$ ,  $[x, y, z] \in \mathbb{N}$  la température du voxel  $[x, y, z]$  d'une flamme  $a$ , et deux flammes  $i$  et  $j$  de dimension  $[l, m, n]$ , la *SSD* est définie comme suit :

$$SSD = \sum_{[x,y,z]=[1,1,1]}^{[l,m,n]} (T(i, x, y, z) - T(j, x, y, z))^2$$

Avec cette mesure, la similarité des flammes sera inversement proportionnelle à la *SSD*.

### 3.3. Classification des flammes

Afin de juger la similarité entre des flammes, il faut trouver un seuil à partir duquel les flammes sont dissimilaires, C'est un travail qui peut s'avérer fastidieux et compliqué pour un utilisateur humain.

C'est pourquoi nous avons choisi de nous orienter vers

un algorithme de classification non supervisé, qui peut travailler sur les données brutes de similarités pour regrouper les flammes qu'il jugera similaire.

Nous avons identifié trois principaux algorithmes de classification :

- Le regroupement hiérarchique (HC) [MC11].
- Le partitionnement spectral (SC) [NJW02].
- L'algorithme des k-médoïdes (PAM) [PJ09].

Ces trois algorithmes prennent en entrée une matrice de similarité, permettant d'évaluer la similarité de chaque flamme avec les autres, et un nombre de classes, et associe à chaque flamme une classe. L'impact de chaque algorithme est discuté dans la partie 4.

#### 4. Résultats

Nous avons utilisé notre méthode afin d'accélérer le calcul d'une séquence d'images pour une scène de test. Trois paramètres ont été identifiés :

- Le nombre de classes à utiliser pour la classification (NbC).
- L'algorithme de classification (Classif).
- Le mode de réutilisation des chemins lors du calcul des images (Mode).

Afin de comparer l'impact des différents paramètres sur les résultats, deux mesures ont été utilisées : L'erreur quadratique moyenne (MSE), et une mesure de qualité (Q) basé sur les travaux de [WSB\*03]. La valeur de Q varie de -1 à 1 (plus Q est grand meilleure est la qualité). La mesure Q étant plus parlante que la MSE, et les deux étant corrélés, nous avons choisis de ne pas inclure la MSE dans l'interprétation des résultats.

Tous les calculs ont été effectués sur un noeud powe-rEdge R820 équipé de 4 processeurs Intel Xeon E5-4627 à 3.30GHz et 8 coeurs chacun. Le temps de calcul de la séquence de référence est de 119 heures, pour 260 images calculées à 8192 échantillons par pixels avec un algorithme de Path Tracing.

**Influence de l'algorithme de classification** On peut voir dans la figure 3 que l'algorithme utilisé pour classifier nos flammes a une influence sur la qualité des images résultantes lorsque le nombre de classes est faible. Le clustering hiérarchique domine lorsqu'on utilise 10 classes pour la classification, mais que l'algorithme des k-médoïdes est supérieur pour 20 classes. Cependant on peut noter que l'algorithme utilisé n'a que peu d'influence pour 30 et 40 classes.

**Changement du nombre de classes** Les figures 3 et 4 permettent de mettre en évidence la relation entre le nombre de classes et le temps de calcul et la qualité. Plus le nombre de classes est grand, plus long sera le calcul mais meilleure sera la qualité.

**Influence du mode de réutilisation des chemins** On peut voir dans la figure 5 une augmentation de la qualité en augmentant le mode de réutilisation des chemins, les plus grandes différences apparaissent des images 130 à 180 lorsque la flamme est très animée. Les modes 1 et 2, qui ne

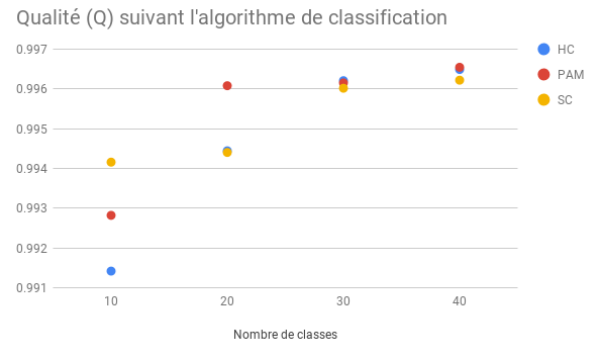


Figure 3: Comparaison de la qualité de séquences d'images calculées après classification avec différents algorithmes (Mode de réutilisation : 3).

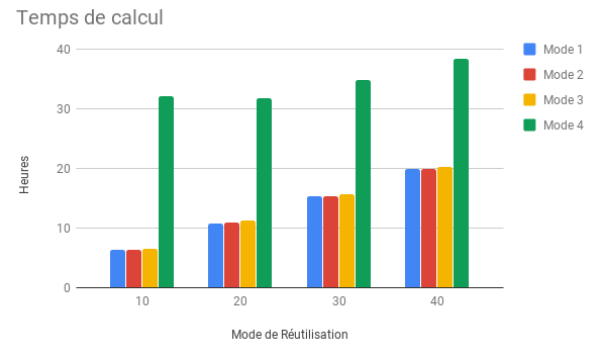


Figure 4: Influence du temps de calcul en fonction du nombre de classes et du mode de réutilisation des chemins. Algorithme de classification : k-médoïdes (PAM).

maintiennent pas le contour visuel exact de la flamme, ne permettent pas d'obtenir un résultat de bonne qualité dans ce cas. La figure 4 nous montre aussi l'augmentation importante du temps de calcul entre le mode 3 et 4.

Ces mesures d'erreurs nous permettent de faire une première validation de nos résultats, et d'avoir un aperçu de l'effet de chacun des paramètres. Mais on peut se demander si ces mesures sont significatives étant données que Q est très proche de 1.0 même dans le pire des cas (Fig. 5). Les mesures utilisées sont calculées images par images, on peut donc s'interroger sur leur pertinence dans le cas d'une vidéo, en effet même si les images sont de bonne qualité une à une, il est possible que les erreurs de ces images soient perceptibles de manière importante lors du visionnage de la vidéo.

Selon les différentes valeurs de paramètres testées, nous avons obtenu un facteur d'accélération de 3 à 20. Ces résultats montrent que notre méthode est paramétrable suivant le gain de temps voulu ou la qualité de la séquence d'images résultante. Les résultats complets ainsi que les séquences d'images sont disponibles à l'adresse suivante : <http://www-lisic.univ-littoral.fr/~briquet/AFIG2018/>

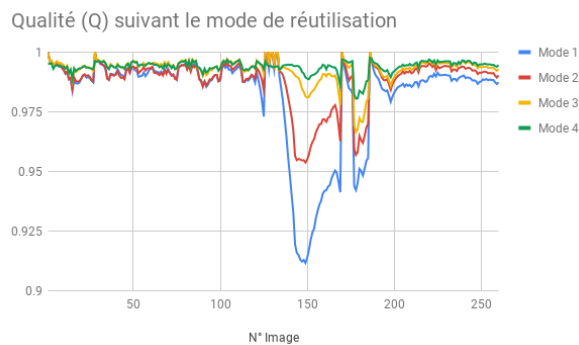


Figure 5: Influence du mode de réutilisation sur la qualité des images d'une séquence. Algorithme de classification : k-médoïdes (PAM), Nombre de classes : 10.

## 5. Conclusion

Nous avons présenté une méthode permettant d'accélérer de manière importante le calcul d'une séquence d'images dont l'éclairage provient d'une flamme en se basant sur la similarité des flammes de la séquence. Cette méthode est paramétrable afin de gérer le facteur d'accélération moyennant une dégradation. Un exemple d'application pourrait être une prévisualisation rapide avant un rendu final, une démonstration pour un client, ... Il reste cependant à appliquer notre approche à d'autres méthodes d'illumination globale et à la généraliser afin de permettre notamment d'avoir une caméra ou une scène dynamique, ou encore plusieurs flammes dans la scène. La recherche de mesures pertinentes pour contrôler la qualité des séquences calculées est une piste importante à envisager.

**Remerciement** Ce travail a été financé par la région Haut de France et le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. Les calculs effectués pour cet article ont été réalisés sur la plate-forme de calcul scientifique CALCULCO, gérée par le SCoSI de l'ULCO (Service Commun du Système d'Information de l'Université du Littoral Côte d'Opale). L'implémentation de notre méthode a été effectuée dans PBRT [PH10].

## Références

- [BPE17] BAUSZAT P., PETITJEAN V., EISEMANN E. : Gradient-domain path reusing. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*. Vol. 36, Num. 6 (2017), 229.
- [BSH02] BEKAERT P., SBERT M., HALTON J. H. : Accelerating path tracing by re-using paths. *Rendering Techniques*. Vol. 2 (2002), 125–134.
- [CSH08] CASTRO F., SBERT M., HALTON J. H. : Efficient reuse of paths for random walk radiosity. *Computers & Graphics*. Vol. 32, Num. 1 (2008), 65–81.
- [MC11] MURTAGH F., CONTRERAS P. : Methods of hierarchical clustering. *arXiv preprint arXiv :1105.0121* (2011).
- [MFSSK06] MÉNDEZ FELIU À., SBERT M., SZIRMAY-KALOS L. : Reusing frames in camera animation. ©

*Journal of WSCG*, 2006, vol. 14, núm. 1-3, p. 97-104 (2006).

- [NFJ02] NGUYEN D. Q., FEDKIW R., JENSEN H. W. : Physically based modeling and animation of fire. In *ACM Transactions on Graphics (TOG)* (2002), vol. 21, ACM, pp. 721–728.
- [NJW02] NG A. Y., JORDAN M. I., WEISS Y. : On spectral clustering : Analysis and an algorithm. In *Advances in neural information processing systems* (2002), pp. 849–856.
- [PH10] PHARR M., HUMPHREYS G. : *Physically Based Rendering, Second Edition : From Theory To Implementation*, 2nd ed. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2010.
- [PJ09] PARK H.-S., JUN C.-H. : A simple and fast algorithm for k-medoids clustering. *Expert systems with applications*. Vol. 36, Num. 2 (2009), 3336–3341.
- [PP06] PEGORARO V., PARKER S. G. : Physically-based realistic fire rendering. In *NPH* (2006), pp. 51–59.
- [RHC95] RUSHMEIER H., HAMINS A., CHOI M. Y. : Volume rendering of pool fire data. *IEEE Computer Graphics and Applications*. Vol. 15, Num. 4 (1995), 62–67.
- [SC04] SBERT M., CASTRO F. : Reuse of paths in final gathering step with moving light sources. In *International Conference on Computational Science* (2004), Springer, pp. 189–196.
- [SH04] SBERT M., HALTON J. : Reuse of paths in light source animation. In *Computer Graphics International, 2004. Proceedings* (2004), IEEE, pp. 532–535.
- [TP18] THUEREY N., PFAFF T. : Mantaflow, 2018. <http://mantaflow.com>.
- [VHS13] VILLEMIN R., HERY C., STUDIOS P. A. : Practical illumination from flames. *Journal of Computer Graphics Techniques* Vol. 2, Num. 2 (2013).
- [WSB\*03] WANG Z., SHEIKH H. R., BOVIK A. C., ET AL. : Objective video quality assessment. *The handbook of video databases : design and applications*. Vol. 41 (2003), 1041–1078.
- [XS07] XU Q., SBERT M. : A new way to re-using paths. In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (2007), Springer, pp. 741–750.