



**HAL**  
open science

## Tricher avec la lumière pour mieux percevoir

Nolan Mestres, Romain Vergne, Joëlle Thollot

► **To cite this version:**

Nolan Mestres, Romain Vergne, Joëlle Thollot. Tricher avec la lumière pour mieux percevoir. JC3DSHS 2023 - Les Journées du Consortium 3D SHS, Nov 2023, Lyon, France. pp.1-8. hal-04494667v1

**HAL Id: hal-04494667**

**<https://hal.science/hal-04494667v1>**

Submitted on 7 Mar 2024 (v1), last revised 6 Jun 2024 (v2)

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NoDerivatives 4.0 International License

---

# TRICHER AVEC LA LUMIÈRE POUR MIEUX PERCEVOIR

**Nolan Mestres, Romain Vergne, Joëlle Thollot**

Laboratoire Jean Kuntzmann (LJK)

Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, CNRS, Université Grenoble Alpes  
Institut Polytechnique de Grenoble - Grenoble Institute of Technology

**Mots-clés :** rendu, rendu expressif, carte panoramique, perception visuelle, ombrage, ombre portée, éclairage, perception de la forme

**Résumé :** Nous présentons des méthodes à l'étape du rendu qui utilisent l'éclairage pour donner à voir la forme et la profondeur dans une scène 3D. Nos algorithmes s'inspirent du geste du peintre Pierre Novat (1928-2007) et plus généralement des techniques de contraste d'éclairage fréquemment utilisées dans les arts visuels. Nos approches sont justifiées par les récentes découvertes en science de la vision qui attestent d'une tolérance de notre système visuel aux incohérences de l'éclairage. Ainsi, afin d'améliorer la lisibilité de la scène, nous trichons avec la lumière, à plusieurs échelles, pour contrôler le contraste via l'ombrage et les ombres portées.

---

## 1. Introduction

La production d'images capables de transmettre efficacement la forme et l'agencement spatial des objets est cruciale dans de nombreux domaines (imagerie médicale, cartographie, archéologie, divertissement,...). Nos travaux s'adressent aux personnes qui explorent ou créent des visualisations numériques 3D pour de telles applications. Pour cela, nous proposons des outils de contrôle de l'éclairage qui accentuent les indices de forme et de profondeur à différentes échelles, sans nuire à l'aspect final de la scène.

Nos recherches s'appuient sur les techniques de contraste d'éclairage des arts visuels. Nous en présentons le contexte et son articulation avec la science de la vision dans la Section 2 de l'article. Plus précisément, nous avons étudié le traitement de l'éclairage dans le style pictural de l'Atelier Novat (1), connu en France pour avoir réalisé de nombreux panoramas des Alpes et des Pyrénées faisant toujours référence aujourd'hui, que nous détaillons Section 3. Nous exposons ensuite, Sections 4 et 5, les algorithmes de rendu que nous avons développés, basés sur ces observations. Le premier, Local Light Alignment (2) permet de contrôler l'ombrage indépendamment du matériau, à plusieurs échelles, pour révéler les détails de la forme d'un objet 3D. Le second permet de résoudre les problèmes de masquage dus aux ombres portées et de souligner les reliefs qui projettent ces ombres (3).

## 2. L'éclairage dans les arts visuels et en science de la vision

L'éclairage désigne les effets de l'interaction de la lumière avec la matière. Nous nous concentrons ici sur l'ombrage et les ombres portées (voir Figure 1). L'ombrage est la variation d'intensité locale sur une surface, fonction de l'orientation de cette surface par rapport à la lumière. Les ombres portées sont dues à un problème de visibilité. Elles apparaissent dans les zones où la source lumineuse est occultée.

Représenter ces effets est une tâche complexe. Le système visuel humain (SVH) est capable d'inférer des informations sur la scène à partir de ces indices visuels. Il peut y être aidé ou bien induit en erreur, un phénomène avec lequel les artistes expérimentent depuis longtemps (4). C'est pourquoi, dans l'art traditionnel comme en synthèse d'images, une conception expressive et minutieuse de l'éclairage est cruciale pour transmettre un message et nous renseigner sur les objets qui composent la scène (5, 6).

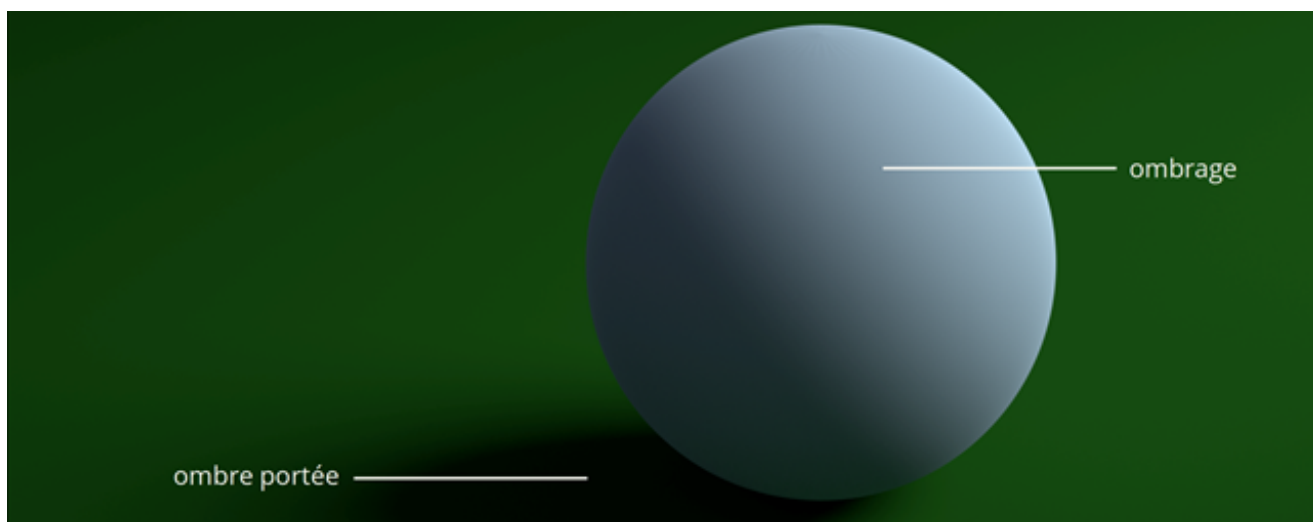


Fig. 1 - Terminologie de l'éclairage. Ombrage et ombre portée sur une sphère

Par exemple, le clair-obscur (*chiaroscuro*), mode de peinture canonique de la Renaissance, était utilisé par les artistes pour représenter les formes et les volumes en augmentant le contraste dans l'intensité de l'ombrage (voir Figure 2). Une théorie solide en perception visuelle est que le SVH utilise les flots d'ombrage (i.e., les directions et intensités des dégradés de l'ombrage dans une image) pour estimer la forme 3D d'un objet. Pour être des indices pertinents pour le SVH, ces flots doivent être contrastés et bien alignés avec la forme (7-10).

D'un autre côté, les ombres portées, omises pendant des siècles dans l'art occidental, ont une nature ambivalente (11). Elles peuvent brouiller des indices importants pour notre système visuel (12, 13) (phénomène de masquage), mais sont dans un même temps d'importantes sources d'informations permettant au SVH d'estimer la profondeur (14-17) (voir Figure 3).



Fig. 2 - L'ombrage contrasté fait ressortir les rides du personnage.  
Détail d'Allégorie de l'Avarice, Gerrit van Honthorst (1623).



Fig. 3 - Les ombres portées ancrent les objets sur la table.  
Détail de La Laitière, Johannes Vermeer (c. 1660)

Malgré l'importance des indices visuels véhiculés par l'ombrage et les ombres portées pour notre perception, le SVH est étonnamment insensible aux incohérences de l'éclairage (18-20) (voir Figure 4). C'est cette tolérance aux incohérences de l'éclairage qui permet aux artistes de tricher avec la lumière dans leurs œuvres, souvent au bénéfice de notre perception de la scène et de ses sujets.

En accord avec ces principes, nous allons voir dans la section suivante comment le traitement particulier de l'ombrage et des ombres portées à la Novat permet à l'artiste de proposer une dépicition lisible du relief montagneux.



Fig. 4 - Les incohérences d'éclairage sont difficiles à percevoir au premier coup d'œil.  
Figure reprise de Ostrovsky et al. (2005).

### 3. L'éclairage dans les cartes panoramiques de l'Atelier Novat

En s'affranchissant d'une représentation réaliste de la montagne, Pierre Novat (1928-2007), transmet efficacement les informations nécessaires à la bonne compréhension du territoire qu'il représente. Il utilise pour cela plusieurs outils, dont un des principaux est la lumière, avec laquelle il prend quelques libertés.

La direction de la lumière varie au sein d'une même œuvre. Elle est fonction de la géométrie du terrain représenté. Cela sert plusieurs buts (voir Figure 5). D'abord, aligner les dégradés d'ombrage avec la forme, pour une bonne restitution de celle-ci. Ensuite, contrôler la longueur des ombres portées pour éviter les phénomènes de masquage, et souligner les crêtes représentées. Il est important de noter qu'en accord avec les découvertes en science de la vision (18-20), cela n'altère pas la cohérence perceptive de l'œuvre finale.

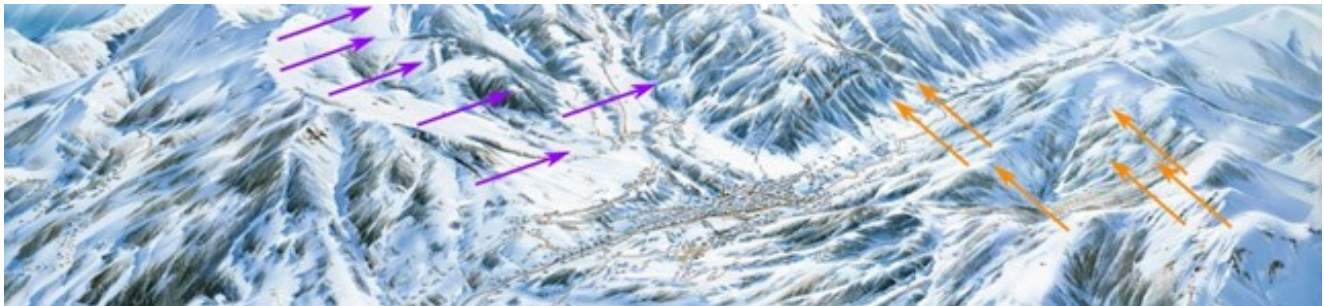


Fig. 5 - La lumière vient de directions différentes pour révéler les crêtes.  
Détail de Megève, Pierre Novat (1986).

Novat éclaircit également l'ombrage, là encore une astuce pour pallier au phénomène de masquage. Rien ne doit être trop sombre au point de cacher des indices importants du relief. Cela a cependant tendance à diminuer le contraste dans l'image. Pour résoudre ce problème, Novat utilise les ombres portées, qu'il va s'autoriser à projeter à plusieurs échelles (voir Figure 6). Ces ombres dans les ombres, là encore très éloignées d'une réalité physique, permettent de réintroduire des indices de forme et de profondeur dans les zones uniformément sombres.

Pour plus de détails sur l'éclairage dans les panoramas Novat, mais aussi sur d'autres éléments du style de l'Atelier (processus créatif, déformation géométrique, éléments cartographiques,...) le lecteur pourra se référer à notre étude stylistique complète (1).

#### 4. Comprendre la forme grâce à l'ombrage

En nous basant sur l'ombrage à la Novat, nous avons développé Local Light Alignment (LLA) (2), une méthode de rendu temps réel sur GPU pour une meilleure restitution de la forme d'un objet dans une image de synthèse. Notre approche permet de mettre en valeur les détails de la surface à plusieurs échelles, indépendamment du modèle de réflectance de l'objet. Notre technique repose sur un ajustement local de la lumière à la surface, en tenant compte des différentes composantes des matériaux. LLA garantit la congruence entre les flots de forme et d'ombrage, une condition nécessaire pour la bonne perception des formes et des détails.



Fig. 6 - Ombres à échelles multiples. Détail de Valmorel, Pierre Novat (1984).

La communauté de l'informatique graphique a proposé différentes classes de méthodes pour améliorer la représentation des formes dans les images. Par exemple celles d'accessibilité, e.g., Ambient Occlusion (21), de traitement du signal, e.g., Radiance Scaling (22) et celles qui changent les lumières directement dans la scène, e.g., Light Warping (23). C'est à cette dernière classe que LLA appartient.

Considérons une crête éclairée par une lumière directionnelle (Figure 7). Notre idée est proche de d'Exaggerated Shading (24), avec toutefois une différence majeure : pour maximiser le contraste entre l'ombrage des deux côtés de la crête, placer la lumière à un angle rasant ne suffit pas toujours. Dans le cas d'un ombrage diffus, cela nécessite plutôt d'aligner la lumière avec un vecteur guide : la normale du côté clair ou un vecteur tangent (correctement choisi) du côté sombre.

Localement à la surface, nous appliquons des rotations à la direction de lumière. Ces rotations dépendent de la géométrie de l'objet à l'échelle considérée. Elles sont pondérées pour être progressives dans les zones de transition entre côté clair et sombre, et ainsi éviter d'introduire des discontinuités dans l'ombrage. Pour tenir compte de la forme à plusieurs échelles, nous les appliquons itérativement, de l'échelle la plus grossière à la plus fine.

Les directions de lumière locales obtenues en fin de chaîne mettent en valeur les détails de surface aux échelles choisies. Pour contrôler d'autres composantes de matériaux nous alignons la lumière avec des vecteurs guides différents. Par exemple, nous alignons localement la lumière avec le vecteur vue réfléchi pour les reflets, et avec le vecteur vue transmis pour les réfractions (voir Figure 8).

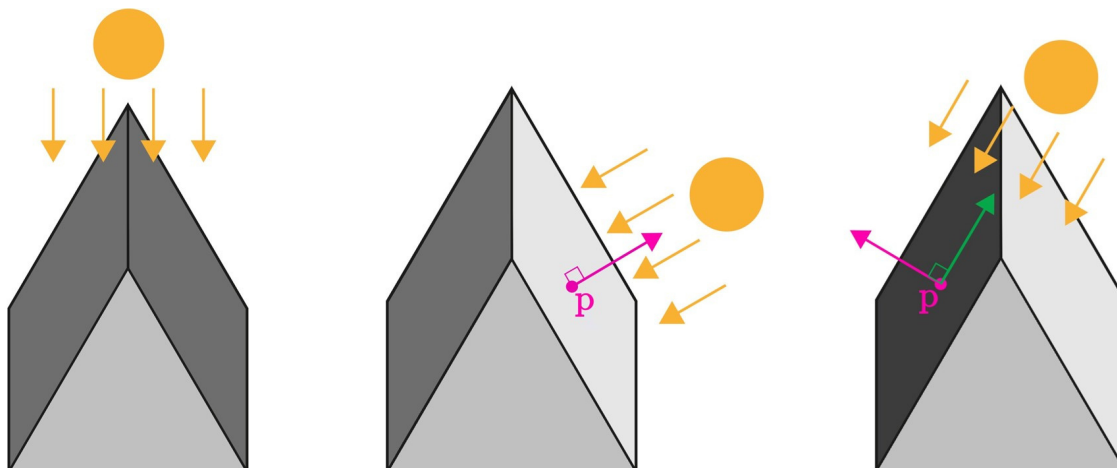


Fig. 7- Une crête éclairée de dessus ou dans l'axe est difficile à lire. Notre solution réintroduit le contraste nécessaire à sa bonne compréhension.



Fig. 8 - (de gauche à droite) Rendu original. LLA aux échelles grossières (diffus). LLA aux échelles fines (spéculaire). Résultat final.

## 5. Les ombres portées pour mettre en valeur le relief

L'objectif de notre méthode de contrôle des ombres portées (3, Chapitre 7) est double. Nous cherchons à résoudre les effets de masquage causés par les longues ombres portées, tout en préservant leurs propriétés utiles pour le SVH afin de transmettre la forme et la profondeur du relief.

Pour cela, nous calculons plusieurs directions de lumière distinctes. Nous déduisons automatiquement celles utilisées pour projeter les ombres portées de celle définie par l'utilisateur pour l'ombrage. Nous nous assurons que les ombres projetées soient plus courtes en moyenne sur le terrain et proposons à l'utilisateur de contrôler leur longueur si la solution automatique ne lui paraît pas satisfaisante.

Pour que les ombres portées soulignent efficacement les masses qui les causent, nous corrélons les directions de lumière à la géométrie du terrain. Nous partitionnons la géométrie du terrain afin d'en déduire des orientations principales de surface, et calculons des ombres pour chacune (voir Figure 9). De même que pour Local Light Alignment, nous appliquons notre algorithme à plusieurs échelles pour reproduire l'effet des ombres Novat. Voir la Figure 10 pour un résultat.

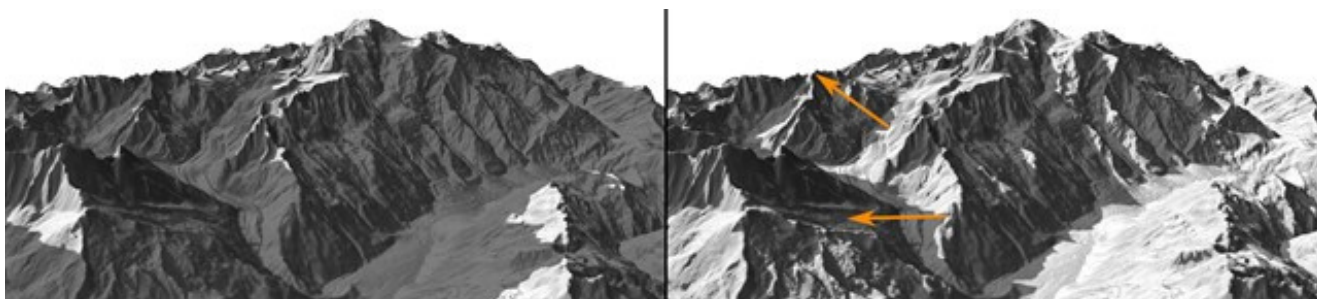


Fig. 9 - (gauche) Rendu d'un terrain avec la même direction de lumière pour ombres et ombrage. (droite) Notre ajustement des ombres portées propose une version plus lisible du relief.



Fig. 10 - Notre modèle de couleur « Novat » (3) appliqué au terrain de l'Alpe d'Huez. (haut) Rendu sans nos ombres ni LLA. (bas) Rendu avec ombres multi-échelles et LLA.

## 6. Conclusion

En nous inspirant des arts visuels et du travail de l'atelier Novat, nous avons pu créer des méthodes d'éclairage pour la synthèse d'images qui améliorent la perception de la forme et du relief. Nous continuons aujourd'hui cette exploration pour la représentation visuelle du paysage dans le cadre du projet micmap qui vise à produire des méthodes temps réel de cartographie 3D à la fois esthétiques et didactiques du territoire.



## 7. Bibliographie

1. Mestres N. A Stylistic Study of the Hand-Painted Winter Panorama Maps of Pierre Novat. *Cartographic Perspectives*. août 2022;(100):67-87.
2. Mestres N, Vergne R, Noûs C, Thollot J. Local Light Alignment for Multi-Scale Shape Depiction. *Computer Graphics Forum*. mai 2021;40(2):575.
3. Mestres N. Light Manipulation for an Expressive Depiction of Shape and Depth [Theses]. Université Grenoble-Alpes; décembre 2022. Disponible sur : tel-04061229
4. Mamassian P. Ambiguities and conventions in the perception of visual art. *Vision Research*. septembre 2008;48(20):2143-53.
5. Kahrs J, Calahan S, Poster S, MacDonald E. Pixel Cinematography: A Lighting Approach for Computer Graphics. *SIGGRAPH Courses*. ACM; 1996.
6. Lowell R. *Matters of Light & Depth: Creating Memorable Images for Video, Film & Stills Through Lighting*. Lowell-Light Manufacturing; 1999. 240 p.
7. Ben-Shahar O, Zucker SW. On the perceptual organization of texture and shading flows: from a geometrical model to coherence computation. In: *CVPR*. 2001.
8. Huggins P, Chen H, Belhumeur P, Zucker S. Finding Folds: On the Appearance and Identification of Occlusion. In: *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2001. p. 718-25.
9. Fleming RW, Torralba A, Adelson EH. Specular reflections and the perception of shape. *Journal of Vision*. septembre 2004;4(9):798-820.
10. Vergne R, Barla P, Bonneau GP, Fleming RW. Flow-guided Warping for Image-based Shape Manipulation. In: *SIGGRAPH*, ACM; juillet 2016;35(4):93:1-93:12.
11. Gombrich EH. *Shadows: The Depiction of Cast Shadows in Western Art*. Yale University Press; 1995.
12. Braje WL, Kersten D, Tarr MJ, Troje NF. Illumination effects in face recognition. *Psychobiology*. Déc 1998;26(4):371-80.

13. Braje WL, Legge GE, Kersten D. Invariant Recognition of Natural Objects in the Presence of Shadows. *Perception*. 1 avr 2000;29(4):383-98.
14. Kersten D, Knill DC, Mamassian P, Bühlhoff I. Illusory motion from shadows. *Nature*. Janvier 1996;379(6560):31-31.
15. Kersten D, Mamassian P, Knill DC. Moving Cast Shadows Induce Apparent Motion in Depth. *Perception*. 1 févr 1997;26(2):171-92.
16. Mamassian P, Knill DC, Kersten D. The perception of cast shadows. *Trends in Cognitive Sciences*. 1 août 1998;2(8):288-95.
17. Cavanagh P, Casati R, Elder JH. Scaling depth from shadow offset. *Journal of Vision*. novembre 2021;21(12):15.
18. Ostrovsky Y, Cavanagh P, Sinha P. Perceiving Illumination Inconsistencies in Scenes. *Perception*. 2005;34(11):1301-14.
19. Lopez-Moreno J, Sundstedt V, Sangorrin F, Gutierrez D. Measuring the perception of light inconsistencies. In: *Proceedings of the 7th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization, APGV*. ACM; 2010. p. 25-32.
20. Wilder JD, Adams WJ, Murray RF. Shape from shading under inconsistent illumination. *Journal of Vision*. 3 juin 2019;19(6):2-2.
21. Pharr M, Green S. Ambient Occlusion. In: Fernando R, éditeur. *GPU Gems*. Addison-Wesley; 2004. p. 279-92.
22. Vergne R, Pacanowski R, Barla P, Granier X, Schlick C. Improving Shape Depiction under Arbitrary Rendering. *IEEE Trans Visual Comput Graphics*. Août 2011;17(8):1071-81.
23. Vergne R, Pacanowski R, Barla P, Granier X, Schlick C. Light Warping for Enhanced Surface Depiction. *ACM Transactions on Graphics*. juill 2009;28(3):25:1-25:8.
24. Rusinkiewicz S, Burns M, DeCarlo D. Exaggerated shading for depicting shape and detail. *ACM Trans Graph*. 1 juill 2006;25(3):1199-205.