

Fabrique d'une ville médiévale

# Fabrique d'une ville médiévale

## Saint-Émilion au Moyen Âge

textes réunis par

Frédéric Boutoulle, Dany Barraud et Jean-Luc Piat

*avec le concours financier de la Direction régionale de la Culture, Service Régional de l'Archéologie, l'Institut Ausonius (UMR 5607), l'université Michel de Montaigne-Bordeaux 3, la Communauté de communes de la Juridiction de Saint-Émilion, et soutenue par l'Institut des Sciences Humaines et sociales du CNRS*

*Aquitania*

Supplément 26

– Bordeaux –

# Sommaire

AUTEURS .....	7
AVANT-PROPOS, par B. Lauret .....	9
INTRODUCTION, par Fr. Boutouille, D. Barraud, J.-L. Piat .....	11

## 1. D'Ascumbas à Saint-Émilion

P. RÉGALDO-SAINT BLANCARD	
Un écrin d'histoire : le territoire de la juridiction de Saint-Émilion avant le Moyen Âge.....	21-38
J.-L. PIAT, CHR. SCULLER, avec la collab. de V. DELAUGEAS	
À six pieds sous terre ou au ciel : les lieux d'inhumations de surface et souterrains de Saint-Émilion .....	39-102
C. TREFFORT	
L'épithaphe de <i>Costaulus</i> : un monument épigraphique du milieu du XII <sup>e</sup> siècle .....	103-112
R. VERGNE, P. MORA, avec la collab. de FR. BOUTOULLE	
La numérisation et la visualisation 3D de l'épithaphe de <i>Costaulus</i> .....	113-122

## 2. Saint-Émilion et la mémoire canoniale

FR. DOLBEAU	
Le dossier hagiographique de saint Émilion.....	125-138
J.-L. LEMAITRE	
Le "Livre du chapitre" de l'abbaye de chanoines réguliers de Saint-Émilion (XII <sup>e</sup> -XIII <sup>e</sup> siècles) .....	139-152

## 3. Mémoire des pierres, langue des formes

É. JEAN-COURRET	
Approche des dynamiques spatio-temporelles de la formation de Saint-Émilion à travers le plan de 1845 .....	155-180
J. MASSON	
L'église collégiale de Saint-Émilion .....	181-198

CHR. GENSBEITEL	
Le "Palais Cardinal" .....	199-214
PH. DURAND	
La Tour du Roy de Saint-Émilion est-elle une construction royale ? .....	215-236
P. GARRIGOU GRANDCHAMP	
L'architecture civile du XII <sup>e</sup> au XIV <sup>e</sup> siècle à Saint-Émilion : bilan des connaissances et problématiques de recherche .....	237-262
Annexe. Inventaire des maisons de Saint-Émilion - XII <sup>e</sup> -XIV <sup>e</sup> s.....	263-310

#### **4. La bourgeoisie de Saint-Émilion, entre jurade et négoce**

FR. BOUTOULLE	
L'apogée d'une "bonne ville". Saint-Émilion pendant les premiers temps de la jurade (1199-1253) .....	313-346
S. LAVAUD	
Genèse d'un territoire viticole : le vignoble médiéval de Saint-Émilion .....	347-362
S. FARAVEL	
Saint-Émilion et la "Mer" : les relations de Saint-Émilion avec la Dordogne au Moyen Âge.....	363-372
J.-CHR. TÖLG	
Saint-Émilion et le roi. Les relations avec la couronne de France après la conquête de 1453.....	373-386
CONCLUSIONS, <i>par B. Cursente</i> .....	387-392
ANNEXE	
La vie de saint Émilion (ou Vie A).....	393-398
RÉSUMÉS.....	399-411

# La numérisation et la visualisation 3D de l'építaphe de *Costaulus*

---

*Romain Vergne, Pascal Mora*

*avec la collaboration de Frédéric Boutouille*

Les enjeux soulevés par la lecture et par l'analyse de l'építaphe de *Costaulus* (anciennement dit d'Aulus) ont nécessité la mise en œuvre d'une démarche scientifique et technique appropriée, parallèle à celle de Cécile Treffort, et qu'il importe de présenter<sup>1</sup>. Le constat d'importantes différences entre, d'une part, la lecture du chanoine Tonnelier menée au début des années 1950 et, d'autre part, ce que l'on arrive à lire aujourd'hui, nous a conduit à prendre en compte l'hypothèse d'une possible altération de parties de l'inscription depuis le milieu du xx<sup>e</sup> siècle, d'autant que dans une lettre adressée au préfet de Gironde, en 1976, l'auteur de la première étude sur cette inscription faisait état de dégradations imputables à l' "irresponsabilité des touristes"<sup>2</sup>. C'est donc d'abord pour tenter de retrouver l'empreinte d'éventuelles parties de l'inscription effacées mais aussi pour affiner l'analyse de l'ensemble de l'építaphe, que le parti de la numérisation a été adopté. À vrai dire, le choix de cette solution a largement été induit par la présence au sein du laboratoire Ausonius (Université

Bordeaux 3) de l'équipe de la plate-forme 3D dont l'expérience en la matière est internationalement reconnue et de ses fructueuses collaborations avec les informaticiens de l'équipe Iparla (INRIA) travaillant au sein du LaBRI (Laboratoire Bordelais de Recherches en Informatique, Université Bordeaux I). Il s'est aussi justifié par l'impossibilité de lire la partie de l'inscription située sur la tranche autrement que par l'intermédiaire du bras d'un scanner, faute de pouvoir déplacer la pierre.

S'agissant d'une première en épigraphie médiévale pour une problématique d'édition de texte, il importait au préalable de réfléchir aux méthodes d'acquisition et de traitement des données numériques. Jusqu'à quel point, pour discerner des détails habituellement imperceptibles, peut-on modifier l'apparence de l'objet sans le dénaturer? Quelles limites ne pas dépasser sans déformer? Comment accentuer des détails de surface sans transformer la texture de l'objet?

Nous avons tenu à exposer les résultats de ces réflexions et les choix techniques retenus dans chacune des étapes de la chaîne opératoire, y compris les justifications techniquement les plus rugueuses. Non seulement parce que, à notre connaissance, ces problématiques n'ont pas encore été présentées dans le domaine de l'épigraphie médiévale mais aussi pour permettre à chacun, épigraphiste ou non, de mieux apprécier sur quoi se fondent les nouvelles lectures qu'il est possible de proposer de cette inscription.

---

1- Les auteurs tiennent à remercier pour leur assistance Cécile Treffort et Vincent Debiais (CESCM, Université de Poitiers), M. Bernard Lauret, maire de Saint-Émilion, Catherine Vauthier, la Société Historique et Archéologique de Saint-Émilion et son président Guy Pétrus-Lignac pour nous avoir permis de scanner l'estampage de l'inscription réalisé par le chanoine Tonnelier. Nous n'oublions pas M<sup>me</sup> Cales, l'Office du tourisme de Saint-Émilion, plus particulièrement Anaïs Cardouat, Marjorie Michel et Nathalie Henri, ainsi que Isabelle Cartron, Loïc Espinasse et Robert Vergnieux de la plate-forme 3D de l'UMR Ausonius.

2- Voir Treffort, dans ce volume.

### NUMÉRISATION 3D DE L'ÉPITAPHE DE COSTAULUS (P. Mora)

La numérisation 3D d'objets consiste à prendre un très grand nombre de points de mesure à la surface des objets. Ces points sont définis dans les trois dimensions de l'espace (X, Y, Z). Le résultat est un véritable "nuage de points" plus ou moins dense en fonction de la résolution utilisée (distance entre deux points de mesure).

Pour numériser l'épithaphe nous avons utilisé un scanner laser 3D Minolta vi910 dont le principe de fonctionnement est basé sur la triangulation. Une raie lumineuse issue d'un laser de très faible intensité, et sans aucun risque pour l'objet, balaie le sujet tandis que ce signal lumineux est enregistré par une caméra vidéo sous un angle donné. L'analyse informatique du signal lumineux capté par la caméra permet de reconstituer la géométrie 3D rapidement après chaque balayage sous forme d'un nuage de points. Le scanner ayant une portée limitée il faut le déplacer pour couvrir l'ensemble du sujet. Les différents scans sont ensuite assemblés les uns avec les autres de manière à avoir un modèle 3D complet sans manque (fig. 1).

Cette première acquisition, réalisée le 9 février 2009, a fait apparaître le sommet de quelques unes des lettres de la tranche inférieure de l'épithaphe qu'il n'a pas été possible de voir davantage compte tenu de la position de la pierre, posée sur cette tranche à même le sol. Or, c'est sur cette ligne que le chanoine Tonnelier affirmait avoir lu le millésime "1014" après les noms d'Émilion, Avictus et Valéry. Aussi avons-nous dû faire ultérieurement dégager la base inférieure de la dalle afin de procéder à une seconde numérisation, le 9 novembre 2009<sup>3</sup>. Limitée à l'acquisition de la tranche, cette dernière opération a nécessité l'utilisation d'un matériel plus maniable dans un espace d'une largeur de 15 cm : un bras de mesure couplé à un scanner 3D de petites dimensions (fig. 2). Ce bras possède des encodeurs dans chacune de ses articulations qui renseignent sur la position de la tête de scanner en temps réel. Cela permet de minimiser les phases de réassemblage et permet une numérisation en continu jusqu'à la limite de portée du bras articulé.

La résolution atteinte est de l'ordre de 0,3 mm, ce qui signifie que le nuage de points comporte environ 3 points par mm. La précision reste inférieure au 1/10<sup>e</sup> de mm. L'acquisition brute, sous forme de

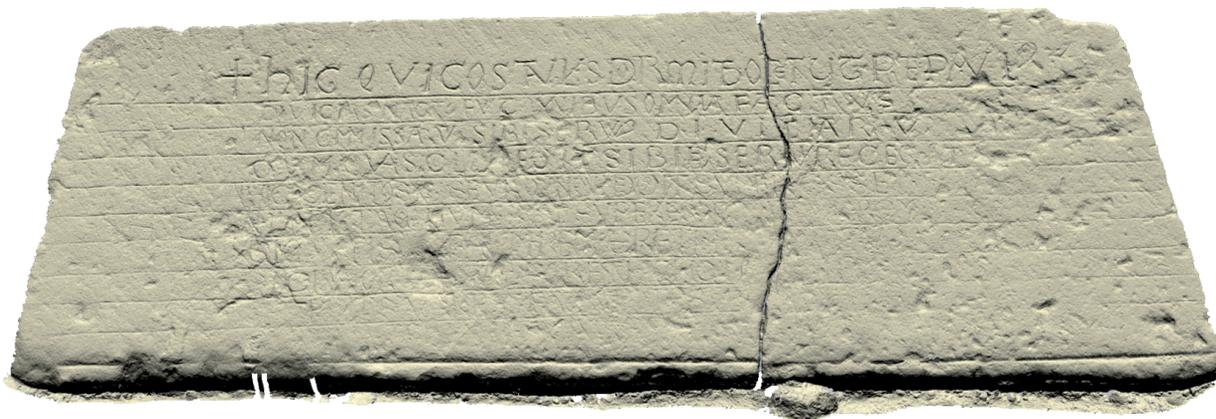


Fig. 1. Inscription de *Costaulus* : image restituée après acquisition par scanner laser ; image P. Mora.

3- Dégagement réalisé avec l'accord du Service régional d'Archéologie. Dans l'épaisseur dégagée, ce remblai sableux s'est révélé récent puisqu'il est traversé par une canalisation en PVC installée sans creusement spécifique. Un petit mobilier a été recueilli (fragment de céramiques modernes, de verre, d'os d'animaux ou humains).



Fig. 2. Acquisition de la tranche de l'épithaphe par scanner laser 3D.

points, est ensuite maillée de manière à obtenir une surface formée de polygones. C'est ce modèle qui a été utilisé pour le traitement informatique. Peu maniable tel quel en raison de son poids (environ 4,5 millions de points) le modèle 3D a été découpé suivant les lignes du texte afin d'en faciliter le traitement par les informaticiens et les épigraphistes.

#### VISUALISATION DES DONNÉES 3D (R. Vergne<sup>4</sup>)

##### État des lieux des techniques de visualisation

Une fois les données 3D numérisées, il nous a fallu les visualiser afin de répondre aux objectifs exposés ci-dessus. Contrairement aux méthodes d'éclairage

classiques qui tendent à reproduire le plus fidèlement la réalité, nous avons mis en place une technique de rendu expressif ayant la particularité de mettre en valeur les détails de surface des objets 3D, pour améliorer la lisibilité et le déchiffrement du texte. Des problèmes se posent en effet dans un rendu classique, ou même dans une photographie : quelle que soit la position de la lumière, des effets d'ombrage dissimulent des détails et peuvent empêcher la lecture de certains caractères.

De nombreux chercheurs ont déjà implémenté des techniques visant à mettre en valeur les détails des objets 3D lors du rendu. Par exemple, Rusinkiewicz<sup>5</sup> s'inspire de méthodes cartographiques<sup>6</sup> et modifie la direction de la lumière de manière à ce qu'elle soit rasante sur chacun des points de l'objet. Les détails de

4- Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet SeARCH soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche ANR-09-CORD-019.

5- Rusinkiewicz *et al.* 2006.

6- Règles de base utilisées par les artistes pour dessiner des reliefs (cf. Peterson).

surface sont alors accentués considérablement. Cependant, cette méthode n'est pas satisfaisante vis-à-vis de la direction d'éclairage (la géométrie de l'objet semble changer lorsque la lumière bouge) et ne fonctionne qu'avec des matériaux diffus.

Ritschel<sup>7</sup> a aussi développé une méthode visant à augmenter le contraste dans une scène 3D. Il applique l'illusion de Cornsweet<sup>8</sup> sur la lumière reflétée à la surface des objets pour mettre en valeur de nombreuses caractéristiques comme la forme, les ombres et les textures. L'approche est intéressante car elle s'applique non seulement sur les matériaux diffus mais aussi sur les objets brillants. Néanmoins, elle ne conserve pas l'aspect des matériaux et ne permet pas de mettre en valeur seulement la forme comme nous le souhaitons ici. De plus, les auteurs ne prennent pas en compte la notion d'échelle qui permet à l'utilisateur de sélectionner des détails plus ou moins larges.

Les travaux de Kindlmann<sup>9</sup> sont sûrement ceux qui se rapprochent le plus des objectifs que nous nous sommes fixés. Ils utilisent la courbure pour visualiser des objets volumiques avec un rendu "style dessins animés" comprenant une quantité limitée de couleurs et des ombres très nettes. Ils mettent la forme des objets en valeur en prenant, par exemple, des couleurs foncées dans les concavités et des couleurs claires dans les convexités. Kolomenkin<sup>10</sup> combinent ce type de rendu avec les lignes séparant les convexités des concavités pour améliorer la lisibilité d'un texte inscrit sur l'anse d'une amphore. Une fois de plus, ces deux techniques s'appuient sur un style de rendu bien particulier, sans prendre plusieurs échelles en compte. Tous les détails, y compris les aspérités à la surface des objets, sont mis en avant, sans contrôle du côté de l'utilisateur.

Contrairement aux approches précédentes, nous cherchons à mettre explicitement en avant le texte inscrit sur l'épithèque, quel que soit le mode d'éclairage, le matériau et le style utilisé pour le rendu. De plus, nous souhaitons laisser à l'utilisateur un contrôle interactif et intuitif pour sélectionner le meilleur

niveau de détail. Pour cela, nous avons conçu un programme permettant de visualiser les objets 3D avec cette nouvelle approche. Les principales fonctionnalités que nous avons mises en place ont été développées dans le logiciel Meshlab<sup>11</sup> sous la forme d'un plugin. Cette intégration nous a parue utile car il s'agit d'un logiciel gratuit et régulièrement utilisé par des archéologues pour manipuler et visualiser des scènes 3D.

## Notre approche

Pour mettre en valeur les détails de surface de l'épithèque, nous ajustons l'intensité de la lumière reflétée, en prenant en compte la courbure de l'objet et les caractéristiques du matériau. Considérons par exemple la tache brillante (aussi appelée tache spéculaire) d'un objet constitué d'un matériau réfléchissant ; si l'on augmente l'intensité de la lumière dans les zones convexes et qu'on la réduit dans les régions concaves, la tache semble être attirée vers les bosses et s'éloigner des creux. Un tel ajustement permet une meilleure distinction entre les détails convexes et concaves et améliore la visibilité. Deux étapes entrent en jeu pour appliquer cette technique (fig. 3). Dans un premier temps, nous calculons la courbure sur l'ensemble de la surface, pour déterminer quels détails nous voulons souligner<sup>12</sup>. Ensuite, nous nous servons de ces données pour ajuster l'intensité de la lumière et augmenter le contraste lors du rendu<sup>13</sup>.

## Analyse de la surface

La première étape consiste à calculer une information de courbure sur chacun des points de l'objet 3D. Pour l'obtenir, nous utilisons une information directement disponible dans les applications 3D : les normales. Ce sont des vecteurs qui représentent l'orientation de la surface en chaque point d'un objet. Il nous suffit de regarder comment ces normales varient dans l'espace pour obtenir la courbure souhaitée.

Prenons le cas simple 1D (fig. 4) pour comprendre plus précisément comment fonctionne cette analyse. La courbe bleue représente une surface vue de profil. Les normales correspondent aux flèches noires le long

7- Ritschel *et al.* 2008.

8- Illusion d'optique dans laquelle la variation d'intensité entre deux couleurs similaires donne l'impression que l'une est plus sombre que l'autre (Ritschel *et al.* 2008)

9- Kindlmann *et al.* 2003.

10- Kolomenkin *et al.* 2008.

11- Le logiciel Meshlab comprenant notre méthode de rendu est disponible sur le site <http://iparla.inria.fr/collaborations/animer>

12- Vergne *et al.* 2009.

13- Vergne *et al.* 2010.

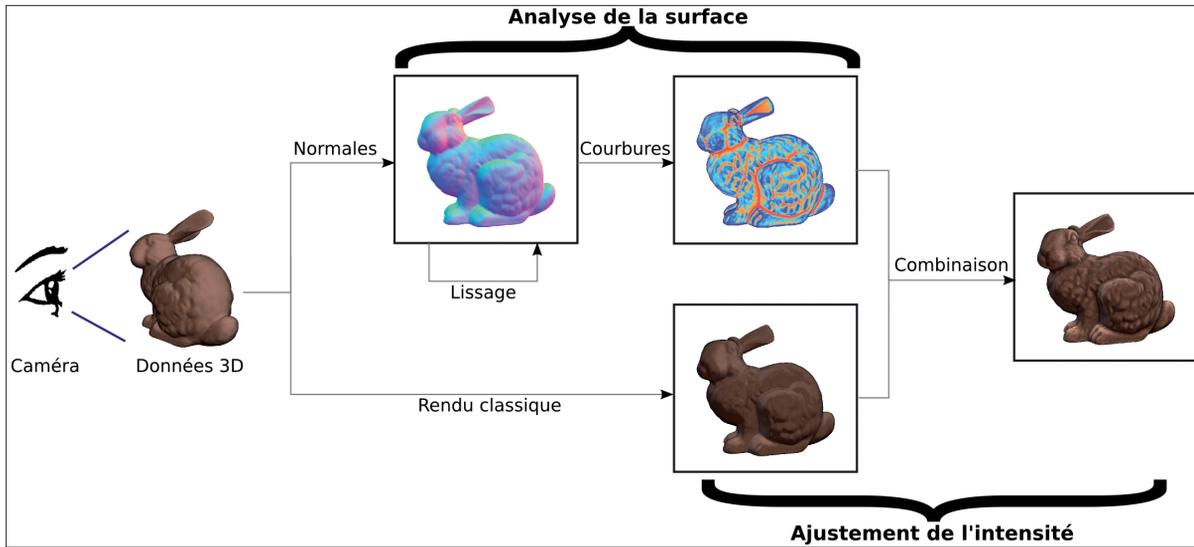


Fig. 3. Chaîne de traitements utilisée pour le rendu d'un objet 3D.

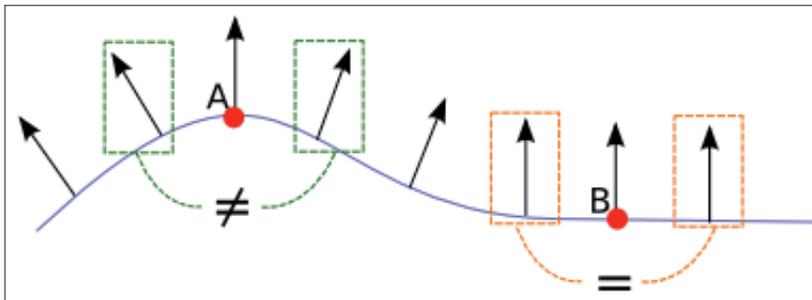


Fig. 4. Calcul de la courbure sur une courbe 1D.

de la surface. Notons que celles-ci sont toujours perpendiculaires à la courbe ; c'est la raison pour laquelle elles donnent une information sur la pente (ou l'orientation) de la surface. Pour calculer la courbure au point A, nous regardons les différences qu'il y a entre les normales voisines à ce point (en vert). Dans ce cas précis, on peut constater que l'angle entre ces deux orientations est assez élevé. On peut donc en déduire que la courbure en ce point est grande. Bien sûr, il est aussi possible de déterminer si A se trouve sur une convexité ou une concavité en regardant comment les directions des normales évoluent sur les points voisins. En B, nous pouvons constater qu'il n'y a, au contraire, aucune variation entre les normales voisines (en orange). La surface en ce point est donc plane. Cette opération, qui consiste à analyser la variation d'une valeur quelconque dans un petit voisinage, correspond à une dérivée. Plus formellement,

on peut donc dire que la courbure s'obtient en calculant la dérivée des normales sur une surface.

Revenons maintenant à notre objet 3D, sur lequel nous souhaitons calculer l'information de courbure. Les normales de l'objet qui sont face à la caméra sont tout d'abord stockées dans une image, exactement comme suggéré sur la figure 3<sup>14</sup>. Cette opération est réalisée en temps réel à chaque fois que la caméra bouge, grâce aux fonctionnalités graphiques modernes. Nous disposons donc d'une information sur

14- Les normales sont ici représentées par des fausses couleurs. Par exemple, le vert et le rose correspondent respectivement à des flèches orientées vert le haut ou vert la droite, toujours perpendiculaires à la surface.

la pente de la surface en chacun des pixels<sup>15</sup> de l'image obtenue. Pour calculer la courbure sur chacun de ces pixels, nous faisons la même chose que dans le cas 1D : nous analysons comment les normales varient dans un petit voisinage. La seule différence est que ce voisinage n'est plus 1D, mais 2D car nous travaillons dans une image. La courbure obtenue nous donne une information sur la forme de la surface de l'objet<sup>16</sup>. Comme on peut le voir sur la figure 3, les régions bleues représentent les zones convexes tandis que les régions orange représentent les zones concaves. L'intensité de la courbure est donnée par des couleurs plus ou moins foncées.

Il est important de noter que cette courbure est calculée de manière dépendante du point de vue. En effet, le fait d'analyser les normales qui font face à la caméra dans une image nous permet d'obtenir des informations de courbure plus ou moins détaillées suivant que l'objet est proche ou éloigné de la caméra. Par exemple, lorsqu'un objet est proche de la caméra, cette méthode détectera les courbures associées aux détails les plus fins, comme le grain de la surface. Par contre, lorsque l'objet est éloigné, ce sont seulement les plus grosses concavités et convexités qui seront détectées. Contrairement aux approches précédentes qui calculent cette courbure sans prendre la caméra en compte, nous obtenons ainsi des niveaux de détails automatiques.

De plus, nous laissons la possibilité à l'utilisateur de sélectionner le niveau de détail qui lui convient le mieux. C'est le voisinage considéré lors du calcul de la courbure qui détermine quelle sera la largeur des détails détectés. Il suffit de réduire la taille de ce voisinage pour détecter des détails fins, ou de l'augmenter pour obtenir des détails larges. C'est l'opération de lissage sur les normales qui permet de sélectionner la région sur laquelle la courbure sera calculée. Il s'agit d'un simple flou, appliqué sur l'image des normales. Lisser les normales revient en effet à flouter les orientations de la surface. La calcul de la courbure sera donc affecté et ne détectera que les détails restants après lissage (les plus gros). Un exemple des courbures obtenues sur une partie de l'épithaphe avec deux échelles de filtrage est donné dans la figure 5. À

gauche, des détails fins ont été sélectionnés. À droite des détails plus grossiers sont mis en valeur.

### Ajustement de l'intensité

Nous pouvons visualiser les courbures directement pour afficher le texte de l'épithaphe (fig. 6), ou bien les combiner d'une certaine manière avec un rendu classique, comme on peut le voir sur la figure 3. L'utilisation de la courbure pour mettre en avant les détails dépend de la façon dont on illumine la scène<sup>17</sup>. Il existe en effet plusieurs techniques d'éclairage en infographie. Dans les exemples qui suivent, nous utilisons deux approches courantes : le rendu Lambertien et les "Lit-Spheres"<sup>18</sup>.

Le rendu Lambertien (fig. 6) ne permet de représenter que des objets composés de matériaux diffus, qui renvoient la lumière de la même manière dans toutes les directions. Le calcul de ce type d'éclairage se fait très simplement en comparant l'orientation de la surface (i.e., la normale) et la direction de la lumière. Plus la surface est face à la lumière, plus l'intensité lumineuse est grande, exactement comme le fait la Terre vis-à-vis du Soleil : il fait plus chaud à l'équateur qu'aux pôles.

Les "Lit-Spheres", quant à elles, stockent la couleur reflétée de l'objet sur l'image d'une sphère (fig. 7). Celle-ci contient en effet les couleurs du rendu pour toutes les orientations possibles de la surface depuis un point de vue donné. Lorsqu'on veut éclairer un objet quelconque avec cette méthode, il suffit de regarder l'orientation du point sur lequel on veut trouver la couleur, puis d'aller chercher la couleur correspondant à cette orientation sur l'image de la sphère. Cette technique permet de représenter une plus grande gamme de matériaux que l'éclairage Lambertien, comme des matériaux brillants, car il suffit de dessiner la sphère comme on le souhaite. Par contre, il est impossible de faire tourner la lumière autour de l'objet car tout est précalculé dans une seule image.

Dans les deux cas, le rendu obtenu par pixel est une couleur dont la luminance<sup>19</sup> est comprise entre 0

15- Un pixel représente la plus petite unité d'une image.

16- Pour les détails d'implémentation ainsi que les équations utilisées, se reporter à Vergne *et al.* 2009.

17- Les formules et détails d'implémentation sont donnés dans Vergne *et al.* 2010.

18- Sloan *et al.* 2001.

19- La luminance est une valeur représentant l'intensité de lumière en un point.

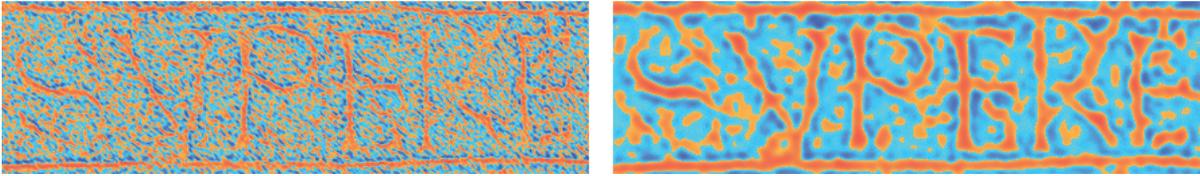


Fig. 5. Courbures d'une partie de l'épithaphe à deux échelles différentes.



Fig. 6. **En haut** : Rendu Lambertien classique. **Au milieu** : Éclairage Lambertien avec combinaison des courbures. **En bas** : affichage des courbures (convexités en blanc, concavités en noir et régions planaires en gris).



Fig. 7. **À gauche** : l'image de la sphère utilisée pour le rendu. **À droite** : comparaison entre un rendu simple utilisant la "Lit Sphere" et ce même rendu combinant les courbures.

(pour le noir) et 1 (pour le blanc). La courbure que nous avons obtenue à l'étape précédente est quant à elle une valeur comprise entre -1 (pour une concavité) et 1 (pour une convexité) en passant par 0 (pour une région planaire). L'objectif de cette étape est donc de modifier la luminance en prenant en compte la valeur de courbure, pour accentuer les détails sélectionnés.

Intuitivement, nous voulons que la valeur de luminance se rapproche de 0 lorsque la surface est concave et qu'elle se rapproche de 1 lorsque la surface est convexe. Pour les zones planaires, sur lesquelles la courbure est nulle, la luminance reste inchangée. Cela aura pour effet d'assombrir les concavités et d'éclaircir les convexités par rapport au rendu original. La fonction qui permet de faire cette déformation de la courbe de luminance par rapport à la courbure est décrite dans Vergne *et al.* 2010. La puissance de la fonction est facilement contrôlable : l'utilisateur peut augmenter l'influence de la courbure lors du rendu en jouant simplement sur un paramètre. Il peut aussi décider d'en inverser les effets. Les figures 6 et 7 montrent l'effet de notre méthode sur certaines parties de l'épithaphe avec l'utilisation des deux types d'éclaircement que nous avons cité précédemment.

Les figures 8, 9 et 10 récapitulent les différents rendus obtenus sur la partie de l'inscription qui pose le plus de problèmes aux historiens et archéologues : la tranche de l'épithaphe sur laquelle le chanoine Tonnelier a cru lire un millésime. La figure 8 montre les courbures que nous avons calculées, avec des couleurs respectivement claires et sombres pour les bosses et les creux. Sur la gauche, on y discerne notamment une partie de l'appel à la prière. Le texte contenu sur la droite de la tranche est quant à lui pratiquement illisible. La figure 9 montre un rendu Lambertien sur lequel notre méthode a été appliquée avec une intensité de plus en plus forte. Jouer sur ce paramètre permet de mettre en valeur plus ou moins de détails dans le rendu final. La figure 10 montre les différences entre un rendu "Lit-Spheres" classique et ceux que l'on peut obtenir en combinant avec les courbures. On montre notamment que l'on peut inverser les effets de notre fonction dans les concavités et les convexités. Au final, aucun de ces procédés ne confirme l'existence des lettres à partir desquelles Tonnelier a imaginé le millésime 1014 ou, plus haut, la présence de reliques d'Émilion, Avictus et Valéry.



Fig. 8. Convexités de la tranche de l'épithaphe.



Fig. 9. **En haut** : rendu Lambertien classique. **Au milieu et en bas** : même rendu, combinant les courbures et dont la mise en valeur est plus ou moins exagérée.

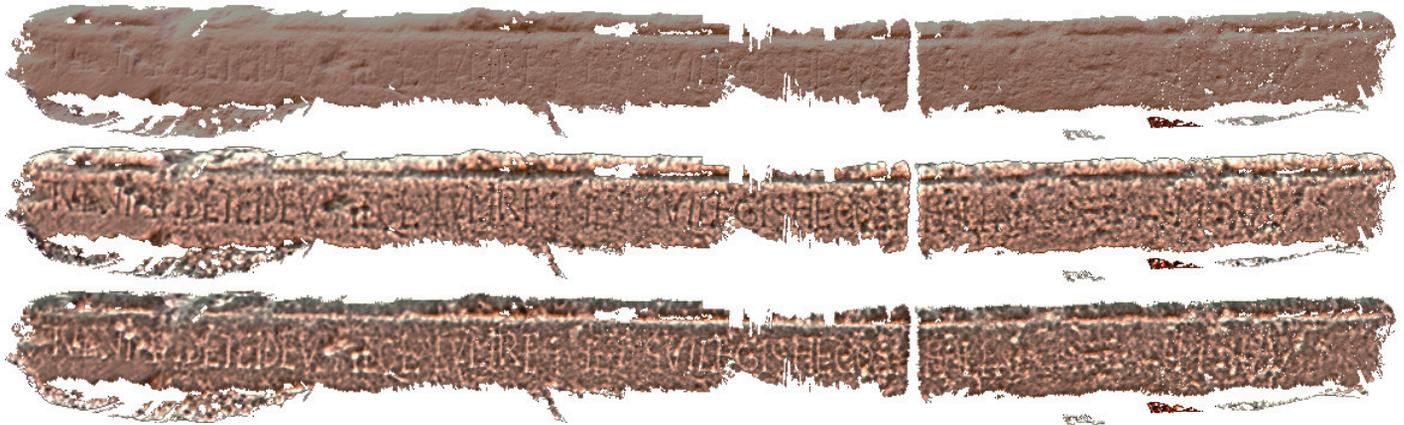


Fig. 10. **En haut** : rendu "Lit Sphere" classique. **Au milieu** : Combinaison avec les courbures pour assombrir les concavités et éclaircir les convexités. **En bas** : les effets de mise en valeur ont été inversés.

## CONCLUSION

La méthode que nous avons mise en place permet de visualiser les détails d'un objet 3D à différentes échelles, quelle que soit la méthode de rendu et le matériau utilisé. Elle permet à l'utilisateur de visualiser l'objet en temps réel, en sélectionnant les paramètres qui lui conviennent (l'échelle et l'intensité de déformation des luminances). De nombreuses améliorations pourraient bien sûr être apportées pour essayer d'extraire et mettre en valeur des informations plus précises. Mis à part pour le rendu direct de la courbure qui ne prend pas de lumière en compte, nous ne supprimons aucun des détails déjà présents dans les rendus originaux ; nous ne faisons qu'en rajouter. Il serait par exemple intéressant de supprimer le grain contenu sur la surface de l'objet. Il pourrait aussi être utile de ne mettre en valeur que les régions dans lesquelles la courbure a une certaine forme (dans le cas de l'épithaphe, nous nous attendons à trouver des lettres), à condition d'être assuré de la constance de la taille ou de la frappe de l'outil. En analysant la surface de l'objet, et si celle-ci n'est pas trop érodée, nous pourrions peut être trouver les zones dans lesquelles un certain type d'outil a été utilisé.

Quoiqu'il en soit, toutes les variantes de lecture numérique 3 D n'ont pas permis de mettre en évidence de traces attestant la présence résiduelle de fragments épigraphiques pertinents. Le résultat scientifique obtenu est une remise en cause de la lecture de Tonnelier.

## Bibliographie

- Kindlmann, G., R. Whitaker, T. Tasdizen et T. Moller, éd. (2003) : *Curvature-Based Transfer Functions for Direct Volume Rendering: Methods and Applications*, VIS '03 – Proc. Of the 14<sup>th</sup> IEEE Visualization, WA - USA.
- Kolomenkin, M., I. Shimshoni et A. Tal, éd. (2008) : *Demarcating Curves for Shape Illustration*, ACM Trans. Graph. - Proc. SIGGRAPH Asia '08, Singapore.
- Paterson, P. : *Shaded Relief: Ideas and techniques about Relief Presentation on Maps*. <http://www.shadedrelief.com>
- Ritschel, T., K. Smith, M. Ihrke, T. Grosch, K. Myszkowski et H. P. Seidel, éd. (2008) : *3D Unsharp Masking for Scene Coherent Enhancement*, ACM Trans. Graph. - Proc. SIGGRAPH '08, LA - USA.
- Rusinkiewicz, Sz., M. Burns et D. DeCarlo, éd. (2006) : *Exaggerated Shading for Depicting Shape and Details*, ACM Trans. Graph. - Proc. SIGGRAPH '06, Boston - USA.
- Sloan, P.-P. J., W. Martin, A. Gooch et B. Gooch, éd. (2001) : *The Lit Sphere: A Model for Capturing NPR shading from art*, Graphics Interface '01, Ottawa - CA, 143-150.
- Vergne, R., R. Pacanowski, P. Barla, X. Granier et Chr. Schlick, éd. (2009) : *Light Warping for Enhanced Surface Depiction*, ACM Trans. Graph. - Proc. SIGGRAPH '09, LA - USA, 25.
- (2010) : *Radiance Scaling for Versatile Surface Enhancement*, I3D '10: Proc. Symposium on Interactive 3D graphics and games - ACM, WA - USA.

