



**Architecture virtuelle et représentation de l'incertitude :  
analyse des solutions de visualisation de la  
représentation 3D**  
Aurélie Favre-Brun

► **To cite this version:**

Aurélie Favre-Brun. Architecture virtuelle et représentation de l'incertitude : analyse des solutions de visualisation de la représentation 3D. VERGNIEUX, Robert; DELEVOIE, Caroline. Colloque Virtual Retrospect 2013, Nov 2013, Pessac, France. Ausonius, Actes du colloque Virtual Retrospect 2013, pp.91-96, 2015, <[http://archeovision.cnrs.fr/pdf/vr13\\_pdf/VR13\\_Favre-Brun.pdf](http://archeovision.cnrs.fr/pdf/vr13_pdf/VR13_Favre-Brun.pdf)>. <halshs-01388077>

**HAL Id: halshs-01388077**

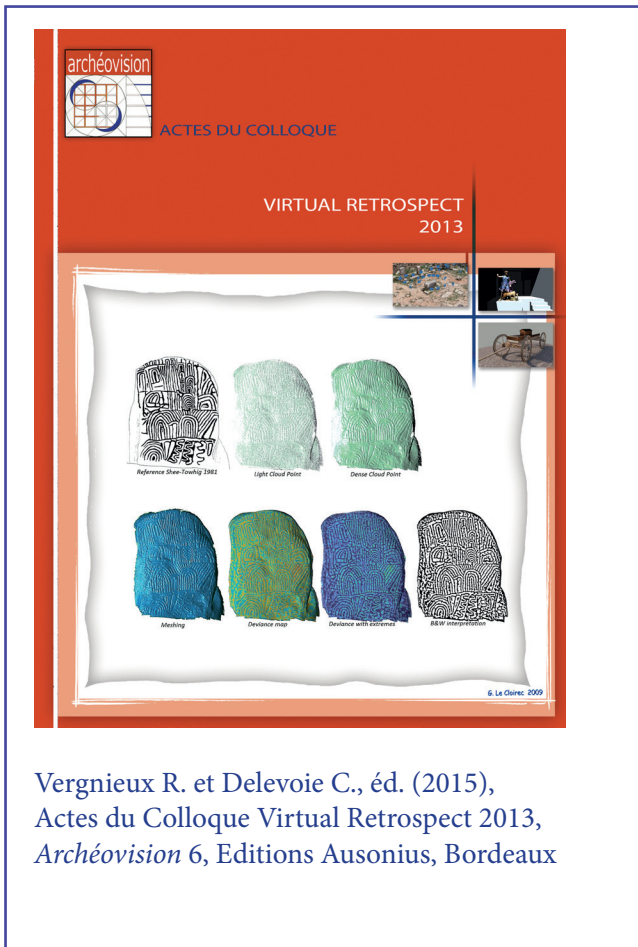
**<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01388077>**

Submitted on 26 Oct 2016

**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.

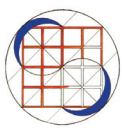




Vergnieux R. et Delevoie C., éd. (2015),  
Actes du Colloque Virtual Retrospect 2013,  
Archéovision 6, Editions Ausonius, Bordeaux

## Tiré-à-part des Actes du colloque Virtual Retrospect 2013

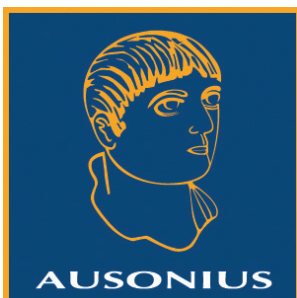
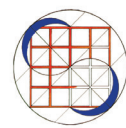
Pessac (France) 27, 28 et 29 novembre 2013



A. Favre-Brun

*Architecture virtuelle et représentation de l'incertitude : analyse des solutions de visualisation de la représentation 3D*

pp.91-96



Conditions d'utilisation :  
Utilisation du contenu de ces pages est limitée à un usage  
personnel et non commercial.  
Tout autre utilisation est soumise à une autorisation  
préalable.  
Contact : [virtual.retrospect@archeovision.cnrs.fr](mailto:virtual.retrospect@archeovision.cnrs.fr)



# Architecture virtuelle et représentation de l'incertitude : analyse des solutions de visualisation de la représentation 3D

Aurélie Favre-Brun, docteur en archéologie, UMR CNRS/MCC 3495 MAP  
a.favre-brun@orange.fr

**Résumé :** La question de l'incertitude de la représentation de l'architecture n'est pas nouvelle. Les figurations anciennes montraient déjà des différences de traitement visuel entre les structures existantes et les éléments disparus ou non visibles. Avec l'usage des outils numériques et de la 3D en archéologie du bâti, de nouvelles possibilités de visualisation de l'incertitude s'offrent aux archéologues. Après avoir dressé un état de la recherche sur la définition de la notion d'incertitude et des modalités d'expression et de traitement visuel de l'incertitude, nous avons testé sur deux sites historiques des solutions de visualisation afin d'évaluer leur pertinence. Sur la base des résultats, nous avons proposé une méthode d'évaluation des données utilisées dans le processus de construction du modèle 3D.

**Mots-clés :** représentation de l'architecture, visualisation de l'incertitude, fiabilité, archéologie virtuelle

**Abstract :** The question of uncertainty into the architecture representation is not new. The ancient figurations already showed differences in visual processing between existing structures and missing or not visible elements. With the emergence of digital tools and the use of 3D in virtual archaeology, new possibilities to represent the uncertainty have been offered to the archaeologists. After the presentation of the state of the research on the uncertainty definitions and the modalities to express and to visualize the uncertainty, we have experimented solutions of visualization in order to assess their reliability. Based on results, we have proposed a method to assess data used into the process of the construction of a 3D model.

**Keywords :** representation of architecture, uncertainty visualization, reliability, virtual archaeology

## INTRODUCTION

La question de l'incertitude dans la représentation de l'architecture n'est pas nouvelle. Certaines figurations anciennes montraient déjà des différences dans le traitement visuel des structures existantes et des éléments disparus ou non visibles. Depuis les années 1990, l'émergence des outils numériques et l'utilisation de la 3D en archéologie du bâti ont offert aux archéologues de nouvelles possibilités de représentation de l'incertitude. Les modèles 3D, utilisés avant tout comme des outils de recherche et de réflexion, peuvent également servir de supports de communication des connaissances. Mais les restitutions tridimensionnelles n'expriment pas toujours l'authenticité historique. C'est dans ce contexte que des règles ont été écrites, fondées sur la transparence et la traçabilité du processus d'étude et de construction de la représentation tridimensionnelle<sup>1</sup>. Les recherches dans le domaine de la représentation de l'incertitude ont porté sur les modalités d'expression et de perception de l'incertitude avec, notamment, le développement de dispositifs capables de traduire l'état des connaissances. Qu'il s'agisse de systèmes d'informations liant représentations 3D et sources documentaires ou de l'application de variables visuelles aux représentations, les diverses propositions apportent des réponses que ce

1. Rocheleau 2011.

travail de thèse a cherché à étudier. L'état de la recherche sur la définition de la notion d'incertitude et ses modes de représentation a permis d'expérimenter certaines approches sur l'église de la chartreuse de Villeneuve lez Avignon. À partir des sources documentaires, études archéologiques et relevés numériques de terrain, des modèles 3D des états actuels et des états antérieurs ont été construits, traduisant les connaissances actuelles. Nos recherches nous ont poussées à nous interroger sur les incertitudes de ces informations et sur les moyens de les visualiser.

## INCERTITUDE ET REPRÉSENTATION 3D

### Définitions et classifications

L'incertitude, communément définie comme "l'état de ce qui incertain ; une chose incertaine, qui prête au doute ; une chose imprécise ; l'état d'une personne incertaine de ce qu'elle fera" (Le Petit Robert 2011) voit sa définition plus affinée en mathématique où elle exprime un intervalle entre une valeur exacte inconnue et une valeur calculée d'une grandeur. En archéologie, l'incertitude est associée au domaine du plausible pour parler de l'interprétation des données qui peuvent être lacunaires, ambiguës, imprécises ou hétérogènes. L'incertitude apparaît comme une notion multifacettes présentant de nombreuses nuances (imprécision, imperfection, faute, erreur, ambiguïté, inquiétude) et liée à plusieurs notions (lacunes, exactitude, validité, fiabilité, qualité, crédibilité). Face à cette multiplicité de significations, des groupes de recherche interdisciplinaires débattent, depuis plusieurs années, des problématiques liées à ses définitions, son évaluation ainsi que ses modes de représentation et de visualisation. Parmi les classifications proposées, Thomson répartit neuf types d'incertitude en fonction de la qualité, de la cohérence et de la subjectivité des données<sup>2</sup>. Selon l'enquête menée par Skeels<sup>3</sup>, l'incertitude est classée en trois niveaux où la question de l'accessibilité aux données (niveau 2) est soulevée ainsi que la précision de la mesure (niveau 1). Enfin, plusieurs autres travaux de recherche<sup>4</sup> proposent de classer l'incertitude en fonction des types de données exploitées (données réelles existantes, parties non visibles, sources iconographiques métriques ou non, textes, lacunes) et du raisonnement scientifique suivi (comparaison, déduction, pure imagination<sup>5</sup>). L'analyse comparative de ces approches a révélé des similitudes tout en soulevant le fait qu'un certain nombre de facteurs humains, techniques et extérieurs, non considérés dans ces classements, pouvaient intervenir tout au long du processus de modélisation et, ainsi, faire varier la fiabilité de la représentation 3D finale.

## INCERTITUDE DU PROCESSUS DE CONSTRUCTION DE LA REPRÉSENTATION 3D

Le modèle 3D, notamment défini par ses dimensions, sa forme, sa localisation spatiale, son apparence visuelle et sa datation, résulte d'un raisonnement scientifique effectué à toutes les étapes du processus de construction. L'objectif est d'identifier les incertitudes et leurs facteurs contenus ou générés par les types de données (sources documentaires et données de terrain), les techniques de reconstruction géométrique et les méthodes de restitution 3D (fig. 1).

Ce type de raisonnement scientifique s'apparente au concept de "granularité de l'incertitude"<sup>6</sup> au sens où le niveau d'incertitude peut potentiellement augmenter à mesure que le modèle 3D est construit. À l'issue de la modélisation 3D hypothétique, comme le préconise Rocheleau, les incertitudes résiduelles doivent être signalées<sup>7</sup>. Déjà au XVIII<sup>e</sup> siècle, l'architecte italien Piranèse distinguait dans ses dessins les parties existantes des parties restituées en utilisant différentes techniques de gravure<sup>8</sup> (fig. 2). Dans les représentations 3D numériques, les dispositifs les plus courants pour exprimer le niveau d'incertitude des connaissances sont la courbure et l'opacité des lignes de contours<sup>9</sup> (fig. 3a), le niveau de schématisation de la texture<sup>10</sup> (fig. 3b), le degré de réalisme ainsi que les variables de transparence, de teinte et de maillage<sup>11</sup> (fig. 4).

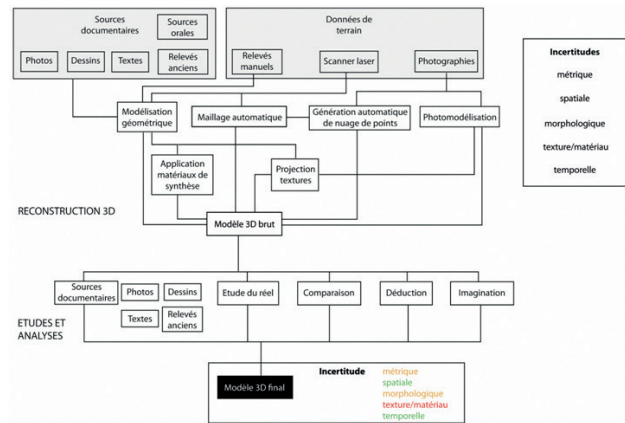


Fig. 1. Incertitudes des données et du processus de construction du modèle 3D.

6. Bonissone & Decker 1985, 57.

7. Rocheleau 2011.

8. <http://www.bildindex.de>

9. Strothotte *et al.* 1999.

10. Potter *et al.* 2007.

11. Stefani 2010, Kensek *et al.* 2004 et Zuk *et al.* 2005.

2. Thomson *et al.* 2005.

3. Skeels *et al.* 2009, 1-12.

4. Strothotte *et al.* 1999, Vergnienx 2009 et Stefani 2010.

5. Hermon *et al.* 2006.



Fig. 2. Restitution du temple d'Isis de Pompéi par Piranèse (XVIII<sup>e</sup> siècle) : "Les parties indiquées en clair-obscur sont celles existantes. Les parties gravées au trait sont celles qu'on a supplées".



Fig. 3. Deux exemples de dispositifs visuels de l'incertitude de la représentation 3D : 3a. courbure et opacité des traits de contours (Strothotte) et 3b. schématisation de la texture (Potter).

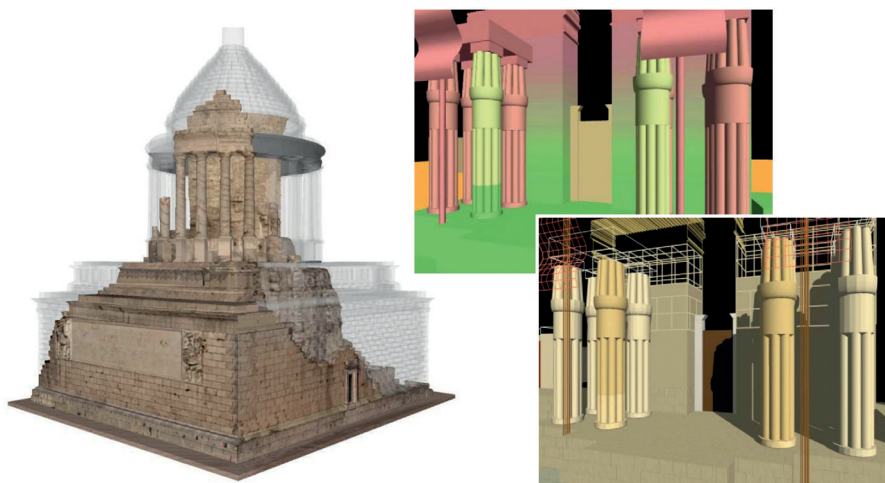


Fig. 4. Variables de transparence, de maillage et de teinte (Stefani, Kensek).



De toutes ces méthodes visuelles, aucune ne permet de mesurer la fiabilité du modèle 3D. La démarche de "modélisation informationnelle" apporte un élément de réponse en proposant d'évaluer la cohérence du processus de création du modèle 3D avec des indicateurs graphiques<sup>12</sup>. Mais c'est une autre méthode qui a retenu notre attention : celle du calcul mathématique de la fiabilité de la représentation 3D.

#### CALCUL DE LA FIABILITE DE LA REPRÉSENTATION 3D

##### Définition du calcul mathématique

La proposition de Hermon et de ses collègues de calculer la fiabilité du modèle 3D découle de la théorie des ensembles flous applicable à l'archéologie en raison du caractère flou de la réalité archéologique, de l'existence de plusieurs vérités possibles et, enfin, de la subjectivité et de la forte variation de la fiabilité de la restitution 3D<sup>13</sup>. Le principe consiste à attribuer à chaque composant d'une scène 3D une valeur de fiabilité comprise entre 0 et 1 selon quatre intervalles : de 1 à 0,8 (fiabilité très importante) ; de 0,7 à 0,5 (importante) ; de 0,4 à 0,2 (peu importante) ; de 0,1 à 0 (pas fiable). La subjectivité évidente de la méthode repose dans le fait que les valeurs sont attribuées par la personne en charge de la restitution 3D, sur la base de critères très vagues. Ce constat nous a invités à définir une série de critères de fiabilité pour les quatre intervalles de valeurs et pour chacun des cinq paramètres d'incertitude (tableau 1).

Le calcul de la fiabilité du modèle 3D a été expérimenté sur la restitution hypothétique de l'église de la Chartreuse de Villeneuve lez Avignon.

#### RESTITUTION HYPOTHÉTIQUE DE L'ÉGLISE DE LA CHARTREUSE DE VILLENEUVE LEZ AVIGNON

Le projet de restitution de l'église du XVIII<sup>e</sup> siècle est la première phase du programme "Chartreuse numérique". Il résulte d'une campagne de relevés lasergrammétriques effectuée en 2007-2008 (fig. 5), suivie du travail de reconstruction géométrique de l'édifice actuel et de la restitution hypothétique de son décor, fondée sur un plan de 1722 et trois textes datés de 1743, 1787 environ et 1791 (fig. 6).

La conclusion tirée de l'application du calcul mathématique à notre modèle 3D a été que la restitution, fiable à plus de 50 %, a montré des limites, principalement liées au niveau de connaissances variable des objets en fonction des sources documentaires. La seconde remarque est liée aux résultats de la formule mathématique, que nous avons voulu traduire graphiquement afin de simplifier leur lecture. Dans un double objectif de communication des résultats et du raisonnement scientifique mené depuis l'acquisition des données jusqu'à la restitution 3D hypothétique, nous avons proposé un protocole de documentation intégrable à un système d'informations.

#### DISPOSITIFS DE DOCUMENTATION ET DE VISUALISATION DE L'INCERTITUDE

Protocole de documentation et de visualisation de l'incertitude  
Ce protocole, testé sur la plateforme NUBES Visum<sup>14</sup>, se compose d'un formulaire qui permet d'indiquer, au moment de leur intégration dans la base de données, les valeurs de fiabilité de chaque source documentaire (fig. 7). Le dialogue entre les composants du système d'informations permet ensuite de générer automatiquement deux dispositifs visuels qui traduisent le niveau de fiabilité global de la représentation 3D.

|                             | Dimensions                                  | Morphologie                   | Localisation spatiale                                 | Apparence visuelle =<br>texture/ matériau | Temporalité         |
|-----------------------------|---|-------------------------------|---|---|---------------------|
| Intervalle 1<br>(0 à 0,1)   | Aucune donnée                               | Aucune donnée                 | Aucune donnée   | Aucune donnée                             | Aucune donnée       |
| Intervalle 2<br>(0,2 à 0,4) | Déduction                                   | Comparaison<br>Déduction      | Déduction   | Sources textuelles,<br>orales             | Déduction<br>Siècle |
| Intervalle 3<br>(0,5 à 0,7) | Données<br>approximatives                   | Sources textuelles,<br>orales | Données<br>approximatives                             | Dessins                                   | Année               |
| Intervalle 4<br>(0,8 à 1)   | Données métriques<br>précises<br>Objet réel | Iconographies<br>Objet réel   | Données spatiales<br>précises<br>Objet <i>in situ</i> | Photographies<br>Objet réel               | (Jour/) mois/ année |

Tableau 1. Définition des critères de fiabilité.

12. Blaise & Dudek 2006.

13. Hermon *et al.* 2006, 125.

14. [http://www.map.archi.fr/nubes/NUBES\\_Information\\_System\\_at\\_Architectural\\_Scale/Home.html](http://www.map.archi.fr/nubes/NUBES_Information_System_at_Architectural_Scale/Home.html)

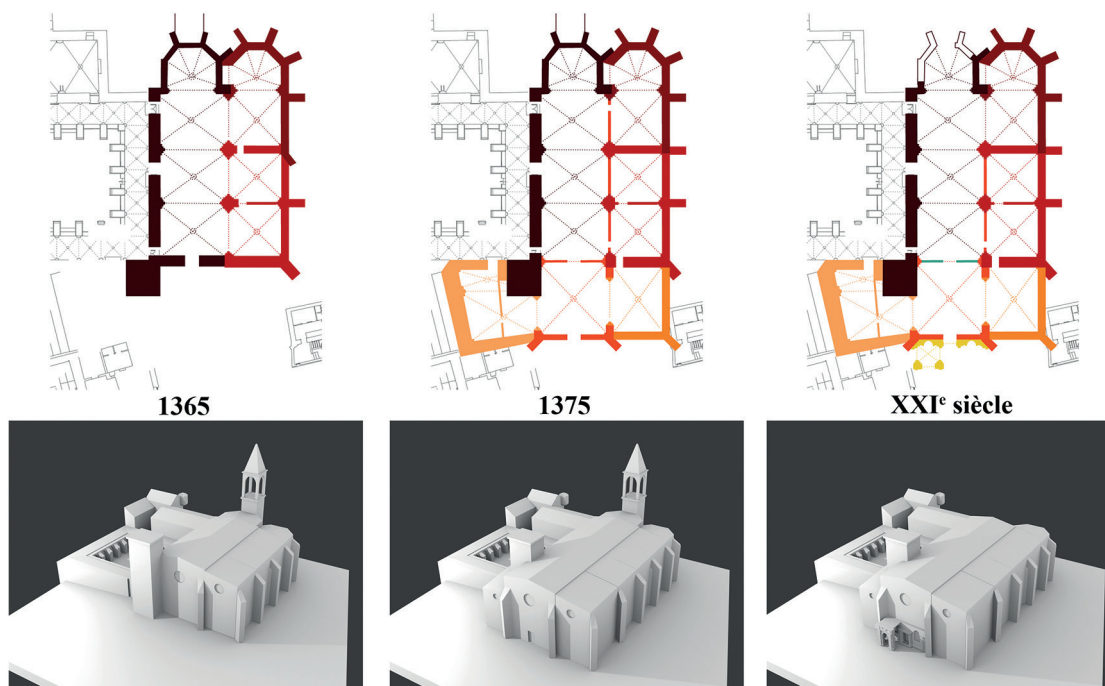


Fig. 5. Plans et modèles 3D des trois principales transformations de l'église de la Chartreuse.



Fig. 6. Hypothèse de restitution 3D du chœur des pères de l'église du XVIII<sup>e</sup> siècle.

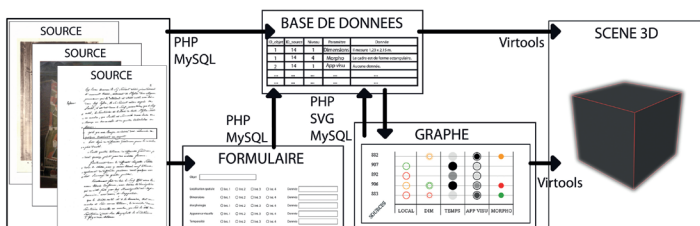


Fig. 7. Schéma du processus de documentation et de visualisation de l'incertitude.



## CODIFICATION VISUELLE DE LA FIABILITÉ DE LA REPRÉSENTATION 3D

Le premier dispositif, qui prend la forme d'un graphe, traduit le niveau de fiabilité globale de la restitution 3D d'un objet pour lequel les données relatives à ses dimensions, sa forme, sa datation, sa localisation et son apparence visuelle sont issues des sources documentaires. La forme, la teinte, la transparence et l'absence des marqueurs indiquent les quatre intervalles de valeurs de fiabilité définis précédemment. De plus, le "graphe objet" formalise le concept de "granularité de l'incertitude" du fait de sa lecture par couches : un marqueur caractérise une donnée, une ligne renvoie à une information, plusieurs lignes traduisent un document et une colonne signale l'incertitude globale d'un paramètre (fig. 8). Le second dispositif, proposé en complément du graphe, utilise les mêmes codes graphiques mais les transpose à la représentation 3D (fig. 9). De cette manière, au sein du système d'informations, les connaissances et incertitudes relatives à un objet sont directement visibles dans la scène 3D, en parallèle de la consultation des sources documentaires.

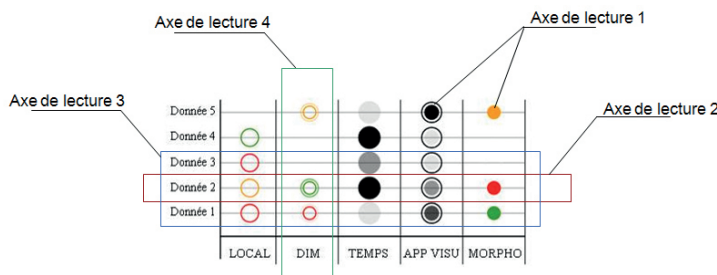


Fig. 8. Les axes de lecture du "graphe objet".

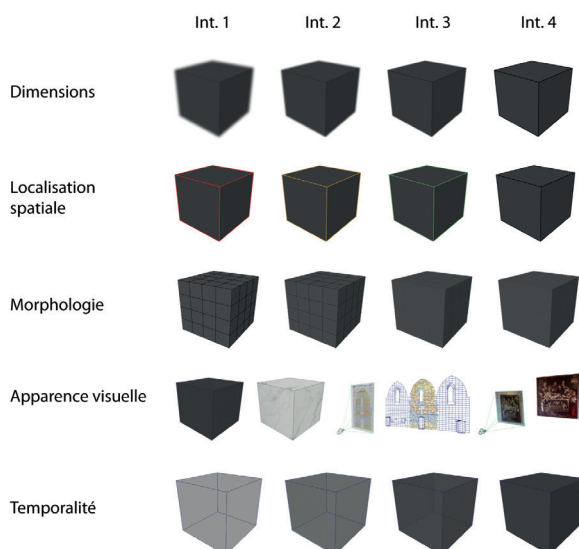


Fig. 9. Proposition d'une codification visuelle de la représentation 3D.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Ce travail de thèse s'est intéressé à la visualisation de l'incertitude dans la représentation 3D dans un contexte d'étude archéologique. Il a permis de souligner l'existence de nombreux dispositifs visuels couramment utilisés dans les restitutions 3D. Toutefois, la plupart d'entre eux ne traduit pas précisément le niveau de connaissances et les incertitudes qui subsistent à l'issue de l'étude scientifique. L'évaluation quantitative du niveau d'incertitude par une formule mathématique reste une approche subjective lorsqu'elle se fonde sur des valeurs globales. Mais la définition de critères précis permet, d'une part, d'augmenter la fiabilité de la représentation 3D et, d'autre part, de développer des variables graphiques capables d'exprimer différents niveaux de connaissances.

## Bibliographie

- Blaise, J.-Y. et I. Dudek (2006) : *Modélisation informationnelle*, Marseille.
- Bonissone, P. et K. Decker (1985) : "Selecting Uncertainty Calculi and Granularity in Trading-off Precision and Complexity", in : *Proceedings of the first annual conference on uncertainty in artificial intelligence*, AUA Press, 57-66.
- Hermon, S., J. Nikodem, C. Perlingieri (2006) : "Deconstructing the VR – Data Transparency, Quantified Uncertainty and Reliability of 3D Models", in : *Proceedings of the 7th international conference on virtual reality, archaeological and intelligent cultural heritage*, Eurographics association, 123-129.
- Kensek, K., L. S. Dodd, N. Cipolla (2004) : "Fantastic Reconstructions of the Fantastic? Tracking and Presenting Ambiguity, Alternatives, and Documentation in Virtual Worlds", *Automation in construction*, vol.13, Elsevier, 175-186.
- Potter, K. et al. (2007) : *3D Lines Textures and the Visualization of Confidence in Architecture*, Technical Report, University of Utah.
- Rocheleau, M. (2011) : "La modélisation 3D comme méthode de recherche en sciences historiques", in : *Actes du 10e colloque international d'ARTEFACT*, Université de Laval, 245-265.
- Skeels, M. et al. (2009) : "Revealing Uncertainty for Information Visualization", *Information Visualization*, Palgrave Macmillan Journal, s.l.
- Stefani, S. (2010) : *Maquettes numériques spatio-temporelles d'édifices patrimoniaux : modélisation de la dimension temporelle et multi-restitution des édifices*, thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Arts et Métiers ParisTech, Aix-en-Provence.
- Strothotte, Th., M. Masuch, T. Isenberg (1999) : "Visualizing Knowledge about Virtual Reconstructions of Ancient Architecture", in : *Proceedings of Computer Graphics International*, IEEE Computer Society, Los Alamitos (USA), 36-43.
- Thomson, J. et al. (2005) : "A Typology for Visualizing Uncertainty", in : *Proceedings of SPIE, Visualization and Data Analysis*, 146, San José (USA), 146-157.
- Vergnien, R. (2009) : "Archaeological Research and 3D Models (restitution, validation and simulation). L'usage scientifique des modèles 3D en archéologie. De la validation à la simulation", in : *Actes du colloque Archeologica 2.0, VAR Journal*, Sociedad Espanola de Arqueologia Virtual, Séville, 55-62.
- Zuk, T., S. Carpendale, W. D. Glanzman (2005) : "Visualizing Temporal Uncertainty in 3D Virtual Reconstructions", in : *Proceedings of the 6th international symposium on virtual reality, archaeology and intelligent cultural heritage*, 99-106.