

Un système pour la recherche visuelle de sources iconographiques

Dans ce chapitre nous allons présenter un système pour la recherche visuelle de sources iconographiques qui exploite à fond toute la richesse informationnelle que nous ajoutons aux images au travers de l'approche décrit dans les chapitre 4, 5 et 6.

Dans le domaine de la documentation architecturale et archéologique, différents travaux de recherche ont produit des systèmes pour la consultation d'archives d'images en utilisant de l'information 3D. Par exemple [Kodabayashi R. et al. 2005] proposent une méthode pour la recherche de photographies qu'utilise des points de vue tridimensionnels comme requêtes. La recherche basée sur les points de vue 3D est utilisée pour recherche différentes images relatives au même objet archéologique. Le système définit le point de vue d'une image comme « la position et l'orientation de l'appareil à partir desquels la photo a été prise ». Comme la réalité est tridimensionnelle, la position et orientation de la caméra servent à fournir des coordonnées 3D. Le point de vue est associé à l'image sous forme de métadonnées et enregistré dans une archive numérique. La recherche d'images est conduite alors en s'appuyant sur la similarité du point de vue.

Un type de recherche dans Photosynth [Snavely N., 2006] est "montre-moi les photographies de cet objet", où l'objet en question peut être sélectionné directement dans une photographie ou dans le nuage de points. Ce type de recherche est appliqué aux vidéos dans [Sivic J., 2003]. Avec ce système d'exploration de photos, l'utilisateur sélectionne un objet en dessinant un rectangle entourant une région de l'image courante ou dans un nuage de points. Tous les points se situant à l'intérieur de l'enveloppe sont sélectionnés. La fonction que classe les images trouvées est basé sur trois critères : 1) les points sélectionnés sont visibles, 2) l'objet est vu à partir d'un bon angle, 3) l'objet apparaît dans ses détails.

L'exploration des images dans l'espace 3D a également été étudiée dans ce projet. L'utilisateur peut déplacer la caméra virtuelle en toutes les directions et peut aussi contrôler le zoom et la rotation. Ceci permet à l'utilisateur de se déplacer librement dans la scène et fournit une voie simple pour recherche des points de vue intéressants et trouver des photographies correspondantes. A tout moment, l'utilisateur peut cliquer sur une pyramide visuelle dans la vue principale et la caméra virtuelle se déplace jusqu'au point de vue de l'image sélectionnée.

Dans notre travail, nous avons développé un système pour aider les architectes, les archéologues et les documentalistes dans la tâche de classification, de gestion et de visualisation des fonds iconographiques relatifs aux monuments historiques en exploitant les résultats de notre méthodologie.

Les bases de données permettent aujourd'hui de gérer plusieurs types d'informations nécessaires à différents supports de documentation. De plus, des nouveaux moteurs d'affichage 3D permettent une interaction spatiale en temps réel avec les nuages de points et les maquettes résultantes des phases de traitement. Aujourd'hui, il apparaît donc essentiel de s'intéresser aux relations que l'on peut établir entre les informations métriques et photographiques à l'intérieur d'une scène 3D.

Ceci est le propos à la base du développement de "Nubes Imago", un système de consultation sur Internet pour la recherche visuelle de sources iconographiques relative à la morphologie des édifices patrimoniaux. Les fonctionnalités actuellement implémentées au sein de ce système sont l'accès et la manipulation de reconstructions tridimensionnelles d'édifices (modèles 3D, nuages de points et photographies) au sein d'une scène 3D interactive. L'objectif de ce projet est de fournir aux utilisateurs (architectes, archéologues, historiens, grand public, etc.) une manière effective pour accéder à l'information (en particulier à l'iconographie) relative d'un édifice historique en fonctions de critères spatiaux, morphologiques et sémantiques.

7.1. Architecture du système

Comme notre système est un module de la plateforme NUBES [De Luca et al. 2010], l'architecture du système s'inscrit dans la structure générale de ce projet. Il s'agit d'une base de données développée en MySQL, une scène 3D interactive développée en Virtools DEV, puis une application Web développée en PHP. La scène 3D est intégrée à l'intérieur de l'application Web sous forme d'un plug-in qui communique avec l'application PHP/MySQL au travers de commandes Javascript. La figure 65 explique le dialogue entre les parties de notre système. Les pages dynamiques PHP de l'application sont utilisées comme support pour la formulation des requêtes, ainsi que pour l'insertion et la modification des données iconographiques stockées dans la base de données MySQL.

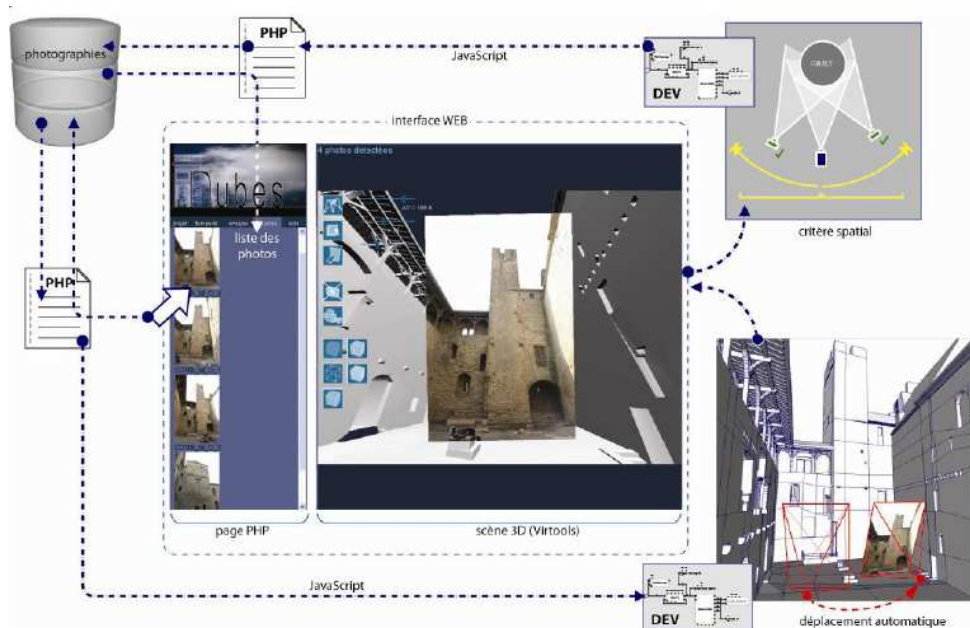


Figure 65 Dialogue entre les parties du système

7.1.1. Base de données

En relation avec la structure générale de la plateforme NUBES, notre système permet la gestion de multiples projets et de multiples utilisateurs. Ceci nous permet d'identifier chaque image et représentation 3D présents dans la base au travers d'un attribut correspondant à un projet spécifique (et dans certains cas à un utilisateur spécifique). Au lancement du système, les seules données relatives au projet sélectionné (et à l'utilisateur concerné) sont téléchargées dans la scène 3D.

Pour le stockage des données de référencement spatial des sources iconographiques, des tables spécifiques sont créées dans la base de données MySQL et concernent quatre catégories d'informations pour chaque source.

Données tridimensionnelles (modèles géométriques des caméras) : Ces valeurs sont celles obtenues par les différentes méthodes de référencement spatial (manuel, géométrique, automatique, etc.) que nous avons décrits dans le chapitre précédent. La scène 3D utilise ces informations pour la recherche d'images basées sur des critères spatiaux.

Les données tridimensionnelles contenues dans la base sont :

- la position du point de vue de chaque image (stockée dans des champs Tx,Ty,Tz). Ces valeurs sont utilisées pour le déplacement de la caméra de navigation jusqu'au point de vue de la photo sélectionnée ;
- l'orientation du point de vue de chaque image (stockée dans des champs Rx,Ry,Rz). Ces valeurs sont utilisées pour la rotation de la caméra de navigation jusqu'au point de vue de la photo sélectionnée ;
- type de projection. Cette valeur est utilisée pour modifier le système de projection de la caméra (parallèle, perspectif) en fonction du type de source iconographique sélectionnée ;
- la distance focale de chaque image (stockée dans un champ FL). Cette valeur est utilisée pour calculer la distance du plan image 2D de l'image par rapport à la position du point de vue de l'image sélectionnée.

Données bidimensionnelles. Ces données sont relatives aux dimensions des sources iconographiques. La largeur et la hauteur sont stockées dans deux champs différents. Cette information est utilisée pour calculer la proportion de l'image 2D associée à la caméra de navigation.

- largeur (stockée dans un champ cvx) et hauteur (stockée dans un champ cvy) en pixel de chaque photo

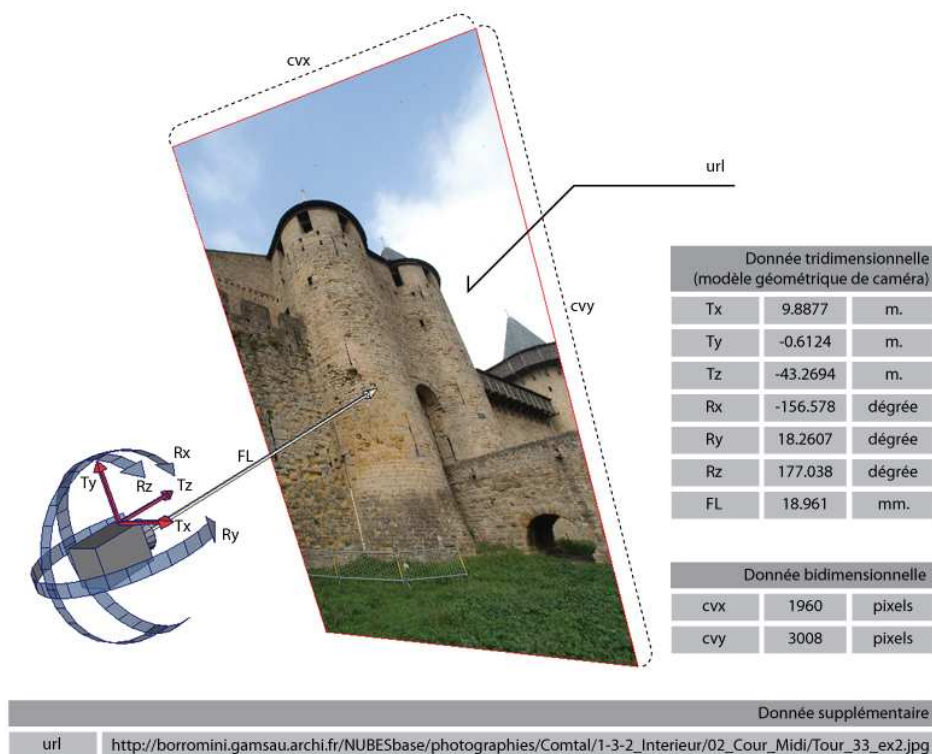


Figure 66 Données relatives à un point de vue relatif à une source iconographique

Données additionnelles comme l'URL de l'image originale (utilisée pour le téléchargement de l'image dans la scène 3D) et la méthode de référencement spatial (utilisée si l'image a déjà été spatialisée ou non et le type de référencement).

Données descriptives. Ces données sont rentrées par l'utilisateur au moment du téléchargement sur serveur des sources iconographiques. Ces données concernent :

- le titre de l'image
- une légende descriptive
- l'auteur
- la date de prise de vue ou d'exécution
- le type de support
- le service de production
- les crédits de l'image
- les droits de diffusion
- les liens vers des informations supplémentaires
- les liens vers des références bibliographiques

Données partagées. Ces données sont des clés pour le dialogue entre les parties du système. La scène 3D temps réel envoie ces données comme critères pour les requêtes SQL aux pages PHP afin de sélectionner et de visualiser les images correspondantes. Quand l'utilisateur sélectionne une image, la page PHP renvoie l'identifiant de l'image sélectionnée à la scène 3D et les valeurs correspondantes (retrouvés à partir des clés) sont utilisées pour retrouver les points de vue de l'image.

Les données partagées sont :

- l'identifiant de l'image
- le nom de l'image
- l'identifiant de l'entité morphologique
- nom et description de l'entité morphologique
- attributs sémantiques de l'entité morphologique.

7.1.2. L'interface WEB du système de la consultation

Notre interface est développée en Virtools DEV (scène 3D interactive) et PHP (pages web dynamiques). Cette interface permet aux utilisateurs de naviguer dans une scène 3D en temps réel et d'observer en détails des reconstructions 3D d'édifices. A chaque moment, notre système peut formuler des requêtes d'images en utilisant différents critères. Une fois reçue la requête de l'utilisateur, le système répond en visualisant les images correspondantes. Les capacités du système sont directement liées aux relations projectives établies entre la représentation 3D de la morphologie de l'édifice et l'ensemble des sources iconographiques 2D spatialisées. La figure 67 illustre le diagramme d'utilisation de notre interface.

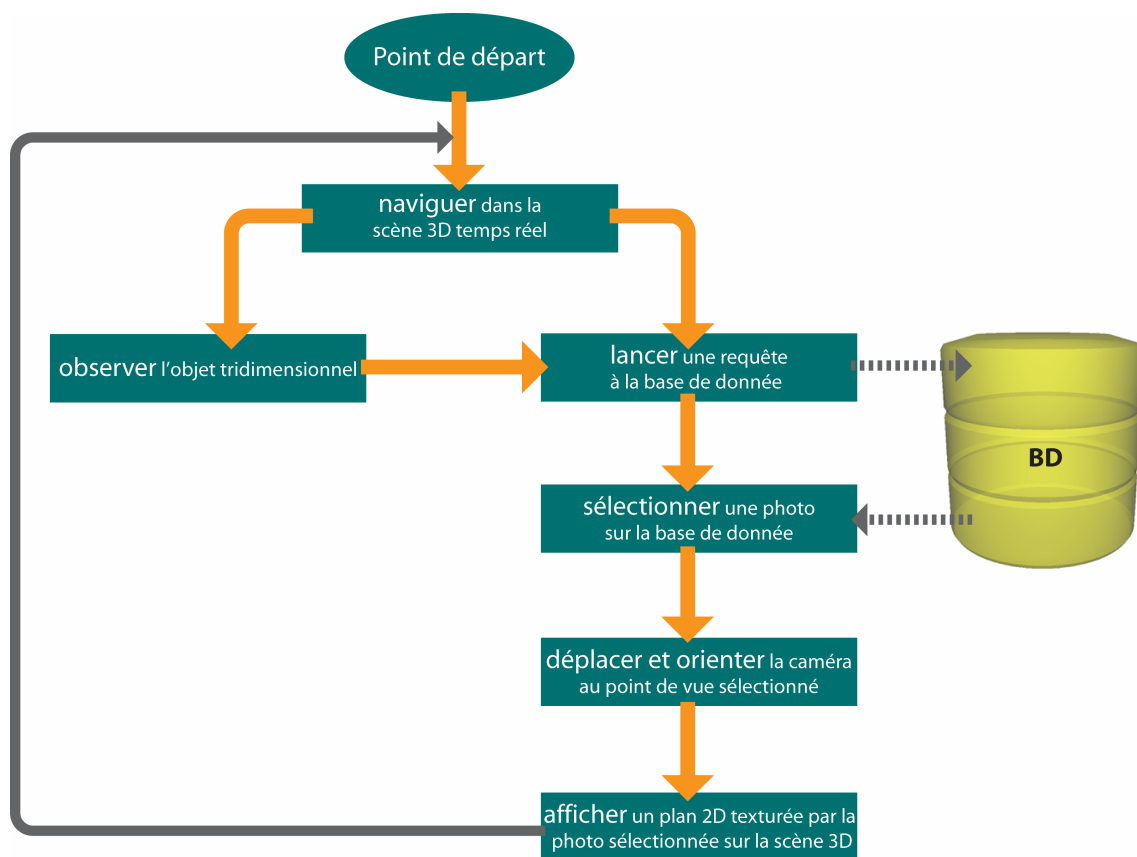


Figure 67 Diagramme de l'utilisation des fonctions d'interface

7.1.3. Fonctions pour la recherche d'images

L'utilisateur de notre système peut formuler des requêtes de différentes manières en exploitant toute l'information contenue dans la représentation tridimensionnelle de l'édifice, sa structuration sémantique ainsi que dans les images spatialisées. Les résultats du processus d'annotation sémantique de la morphologie de l'édifice et des images permet de formuler des requêtes sur :

- Les attributs sémantiques des éléments architecturaux qui sont présent dans les images (résultat de l'annotation sémantique)
- Les éléments présents dans l'image (résultats de la projection des contours des éléments 3D dans les images)
- Le point de vue de l'image dans l'espace 3D (résultat du référencement spatial)

7.2. Recherche d'images basée sur critères spatiaux

Cette méthode de recherche permet la formulation de requête dans la base de données iconographiques en fonction de critères spatiaux. Cette fonction est basée sur la sélection d'informations sur les images à partir du point d'observation dans la scène 3D. Afin de rechercher les sources iconographiques correspondantes à la position et à l'orientation courante de la caméra de navigation, nous utilisons l'intersection entre la pyramide visuelle de la camera de navigation et les pyramides visuelles relatives aux points de vue des images spatialisées (voir la figure 68, gauche). Cette méthode est conçue pour permettre aux utilisateurs de retrouver les images qui contiennent la même portion d'espace qu'il est en train d'observer dans la scène 3D. Ceci permet de visualiser des ensembles d'images ayant un point de vue similaire.

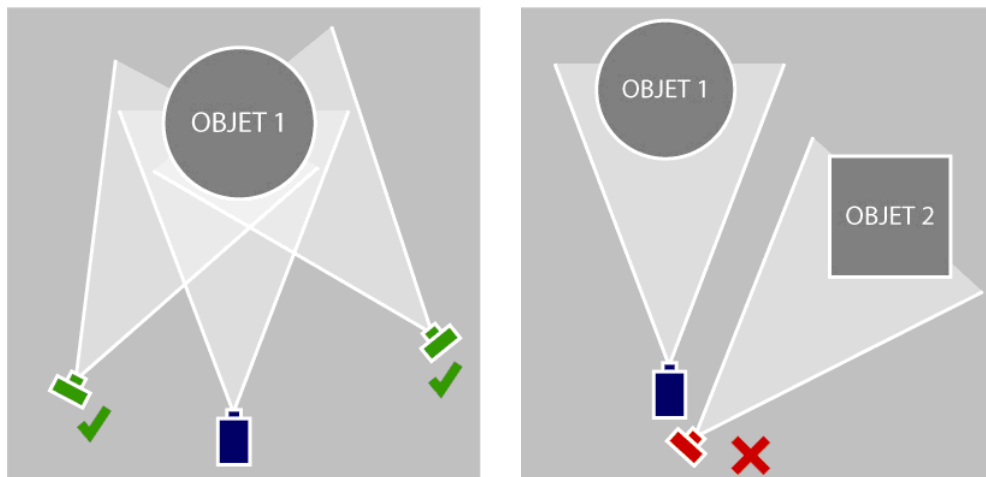


Figure 68 Méthode de détection d'images basée sur l'intersection de pyramides visuelles

Les images dont la pyramide visuelle ne se trouve pas en intersection avec celle relative à la caméra de navigation sont exclues de la sélection (voir figure 68, droite).

Nous paramétrons la détection des images similaires au point d'observation en fonction de trois critères distincts :

- l'angle de vue de la caméra de navigation (pour contrôler l'échelle de la pyramide visuelle) ;
- la distance entre la position de la caméra de navigation et la position du point de vue de chaque image ;
- l'extension de l'angle entre l'orientation de la caméra de navigation et celle du point de vue de chaque image.

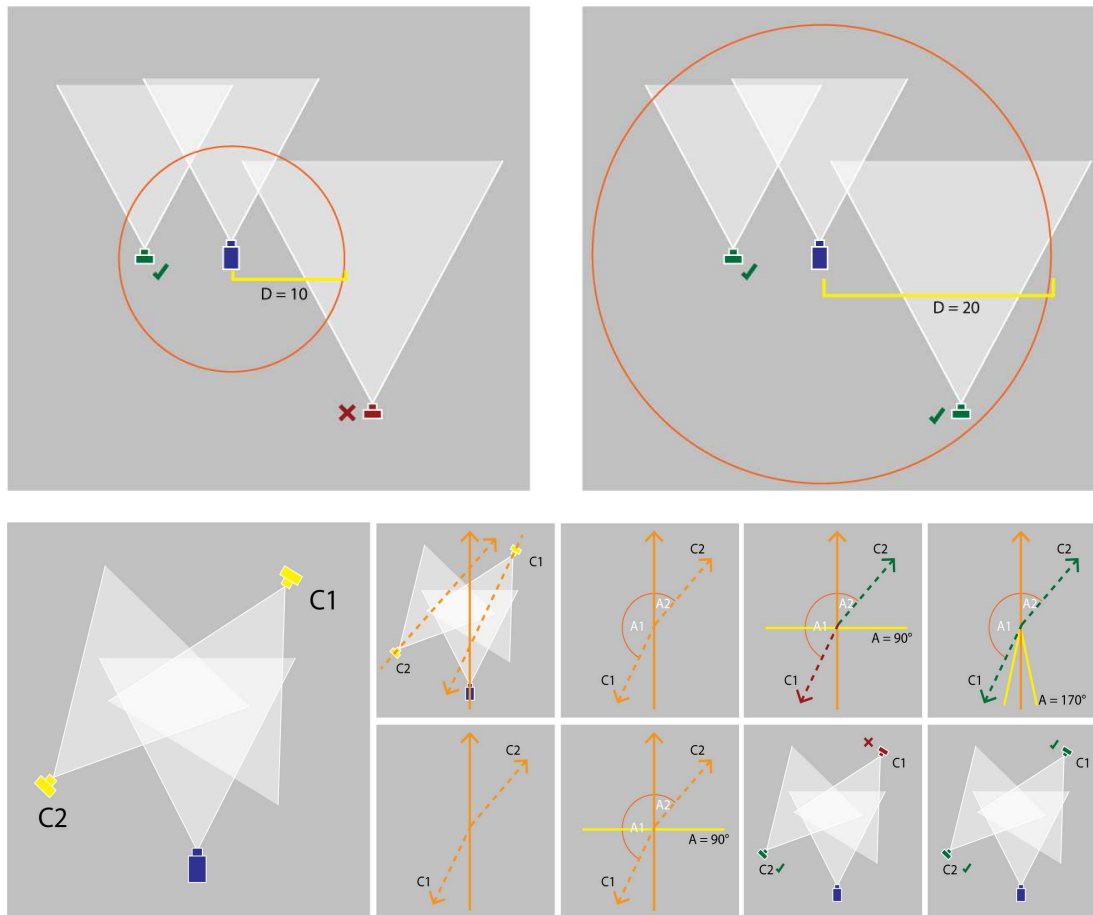


Figure 69 Paramètres du critère spatial. En haut : distance, en bas : différence d'orientation

Notre système permet à l'utilisateur de configurer ces 3 paramètres à tout moment lors de la navigation pour ne pas limiter la flexibilité d'utilisation. L'utilisateur peut choisir l'angle de champ de la camera de navigation entre 50 à 120 degrés (au delà de ces angles, la visualisation serait trop distordue), la distance entre sa position et celle des images à recherches entre 0.5 et 50m (valeur établie en fonction de l'échelle architecturale), la différence d'orientation entre 0 et 180 degrés.

En appliquant cette méthode, l'utilisateur peut affiner progressivement ses requêtes, par contre, si l'utilisateur introduit des paramétrages trop fins, il pourrait obtenir des résultats pas pertinents ou des pertes importantes (voir figure 70).

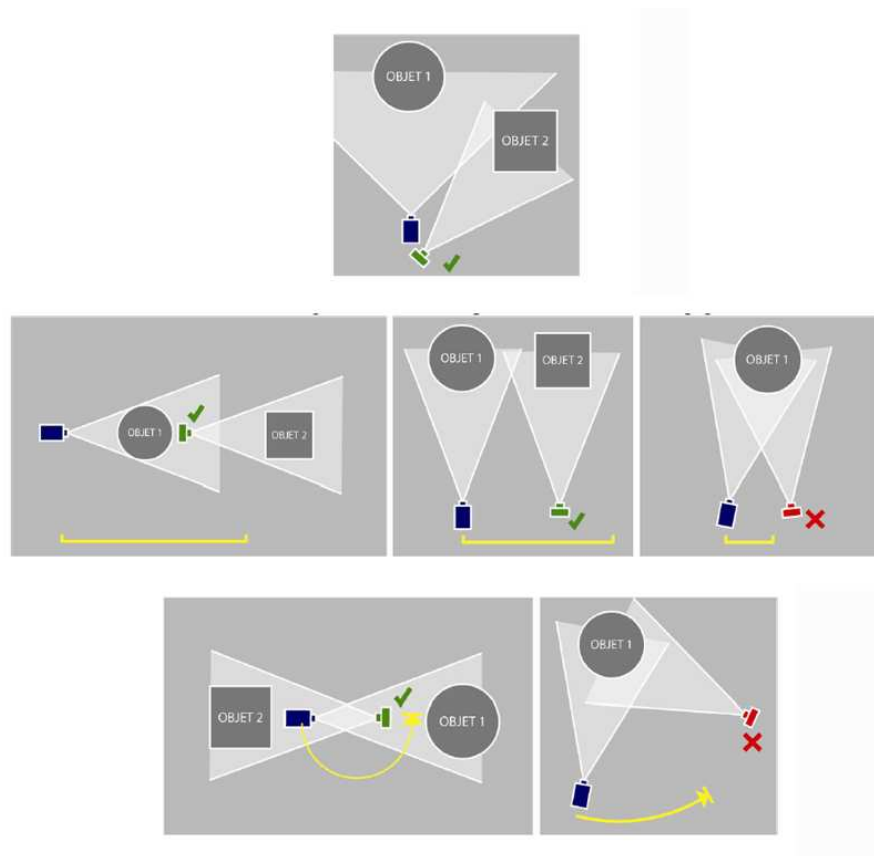


Figure 70 Exemples d'échec de détection : cas où la valeur de la limite introduite par l'utilisateur est trop grande ou trop petite.

Après plusieurs tests, les paramètres par défaut du système (pour une détection efficace et pertinente d'images similaires au point d'observation) ont été défini ainsi: angle de champ de la camera de navigation = 90.6 degrés, distance entre camera de navigation et points de vues des images = 15 m, différence d'orientation entre la camera de navigation et points de vue des images = 90 degré.

Pour donner un exemple d'ajustement de ces trois paramètres, si l'on formule une requête : la détection de toutes les photographies dont les champs visuels recoupent celle de la caméra de navigation, à une distance inférieure à 50 m (valeur maximale) mais dont la limite de l'angle est égal à 0 (très précis) ; la base de donnée affichera seulement les photos qui ont exactement la même orientation que celle de la caméra de navigation (voir la figure 71 gauche).

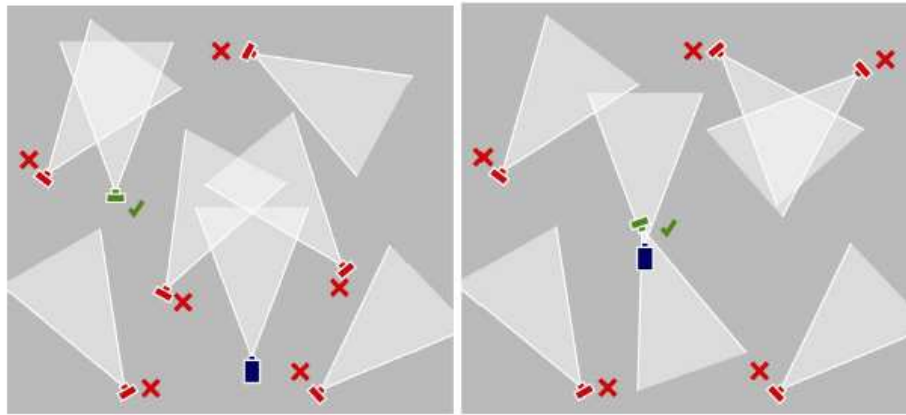


Figure 71 Combinaison de requêtes

On peut tout aussi bien formuler la requête en paramétrant une distance précise et une différence d'orientation limite très étendue (voir la figure 71 droite).

Ces paramètres sont également utilisés pour trier les résultats. Une fois une requête formulée, l'affichage des résultats se base en effet sur un ordre défini par la distance et la différence d'orientation (on calcule seulement l'orientation d'axe X (pitch) et Y (yaw)) entre les points de vue des images et de la caméra de navigation. L'image répondant le mieux à la requête s'affiche donc en première position.

Du point de vue de l'implémentation informatique, quand on clique sur le bouton pour lancer une requête, la liste des identifiants des photos sélectionnées par la procédure ci-dessus décrite est envoyée depuis la scène 3D à une page PHP qui récupère les informations relatives depuis la base de données MySQL. Ce type de recherche est particulièrement utile pour la recherche de sources iconographiques associées aux espaces architecturaux (cours, entrées, galeries, etc.)

7.3. Recherche d'images basée sur critères morphologiques

La possibilité de sélectionner un élément architectural est particulièrement utile quand on explore une scène architecturale 3D. Quand en navigant l'utilisateur s'arrête face à un élément intéressant, la sélection de cet élément est une voie intuitive pour rechercher les sources iconographiques le concernant. Plusieurs recherches proposent des solutions pour visualiser des informations documentaires associées à un élément morphologique [Snavely N. et al., 2006; Herbig U et al., 1998]. Ces méthodes permettent aux utilisateurs de sélectionner des représentations d'éléments architecturaux (comme des portions de nuages de points ou des maquettes 3D) et de lancer une requête pour trouver des photos dans la base de données correspondantes à l'objet sélectionné. Par contre, ces travaux se basent sur une association élément-source documentaire définie préalablement.

Dans notre système, à côté des critères spatiaux nous proposons une nouvelle méthode d'accès aux sources iconographiques basée sur la sélection d'éléments de la morphologie de l'édifice.

Compte tenu du fait que la présence de chaque entité 3D de la morphologie de l'édifice est annotée sur les images au travers de la projection de son contour (voir chapitre 6), notre système permet de retrouver toutes les images dans lesquelles cette entité est présente.

Cet aspect explicite à fond l'idée d'utiliser la maquette numérique comme moyen d'accès aux informations patrimoniales relatives à la morphologie d'un édifice.

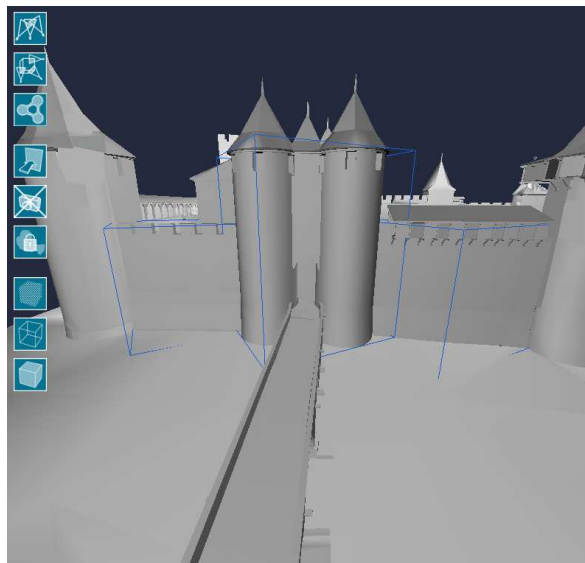


Figure 72 Sélection de multiples objets dans la scène 3D

Dans cette modalité de recherche, l'utilisateur peut sélectionner un objet 3D dans la scène interactive. Une sélection multiple est admise (voir figure 72). Une fois les objets sélectionnés, le système envoie l'identifiant de(s) objet(s) sélectionné(s) à une page dynamique PHP. Cette page affiche alors toutes les images dont la couche sémantique SVG associée contient ce(s) identifiant(s).

Les résultats sont triés en fonction de l'extension de la superficie de la région polygonale SVG (relative à l'entité ou aux entités sélectionnées) associée aux images (voir section 6.4.2.4). L'image dans laquelle l'entité occupe la superficie majeure est affichée en premier. L'extension de la présence d'un élément dans les images est aussi utilisée comme paramètre pour affiner la recherche. L'utilisateur peut en effet indiquer une valeur (par exemple plus de 40% de la superficie de l'image) pour rechercher seulement les images où l'élément sélectionné est en premier plan.



Figure 73 Résultat de la requête basée sur la sélection de multiples objets.

7.4. Recherche d'images basée sur critères sémantiques

La recherche d'images basée sur des critères sémantiques est l'objectif principal de notre travail. Au vu de l'intégration réalisée dans notre système d'informations métriques, morphologiques et sémantiques, cette méthode permet de rechercher des sources iconographiques reliées à des attributs utilisés pour qualifier les entités architecturales qui composent l'édifice. Cela permet à l'utilisateur de retrouver par exemple toutes les images contenant des éléments qui partagent des attributs avec un ou plusieurs éléments sélectionnés dans la scène 3D ou sur une image.

Pour configurer cette recherche, au moment de l'ouverture d'un projet, le système classe tous les attributs sémantiques associés aux éléments de la morphologie (termes de thesaurus utilisés pour décrire les éléments, attributs spécifiques à une analyse, etc.) et crée des listes consultables par l'utilisateur.

A partir de la sélection d'un attribut sémantique, toutes les images contenant des éléments auxquels cet attribut a été associé seront affichées. La requête permet aussi la sélection de plusieurs attributs à la fois. Par exemple, l'utilisateur peut rechercher toutes les sources iconographiques où des éléments de type "tour" sont présents à coté d'éléments de type "hourd".



Figure 74 Résultat d'une requête basée sur critère sémantique.

Ce niveau de précision et de paramétrage n'est jamais été atteint au sein d'une base de données d'informations patrimoniales.

Suite à la formulation de la requête, le système sélectionne les images dans la base de données qui correspondent aux critères et copie chaque couche vectorielle (SVG) associée aux images sélectionnées pour créer un ensemble de fichiers image temporaires. Ces fichiers sont édités à la volée et les régions vectorielles des images correspondantes aux entités sélectionnées sont colorées. Cette fonction permet aux utilisateurs de connaître ainsi la position des éléments recherchés dans les images trouvées. Dans ce type de recherche aussi, les résultats de la requête sont classés en fonction de l'extension de la superficie de la région identifiée sur l'image.

Ce type de recherche peut être particulièrement utile dans un contexte de conservation. En effet, si la description de la morphologie de l'édifice répertorie les phénomènes de dégradation qui affectent l'édifice, on pourrait utiliser ce type de recherche pour trouver par exemple toutes les images où un type spécifique de dégradation est présent, ou encore toutes les images où on peut observer un type spécifique de dégradation sur un type spécifique d'élément architectural.

7.5. Récupération de point de vue image

A tout moment de son utilisation, notre système permet de retrouver le point de vue relié à une source iconographique dans l'espace 3D. Cette fonction permet d'explicitier visuellement la relation entre l'image sélectionnée et la scène 3D.

Quand l'utilisateur sélectionne une image, la procédure de dialogue entre la base de données et la scène 3D est utilisée pour la recherche du point de vue correspondant dans la scène 3D. Il s'agit de reproduire les paramètres d'une caméra à projection perspective ou orthogonale. Les paramètres intrinsèques et extrinsèques de la caméra associée à l'image sont transmis à une fonction interne de la scène 3D qui calcule l'interpolation entre la position et l'orientation courantes de la caméra de navigation et les valeurs relatives à l'image sélectionnée.

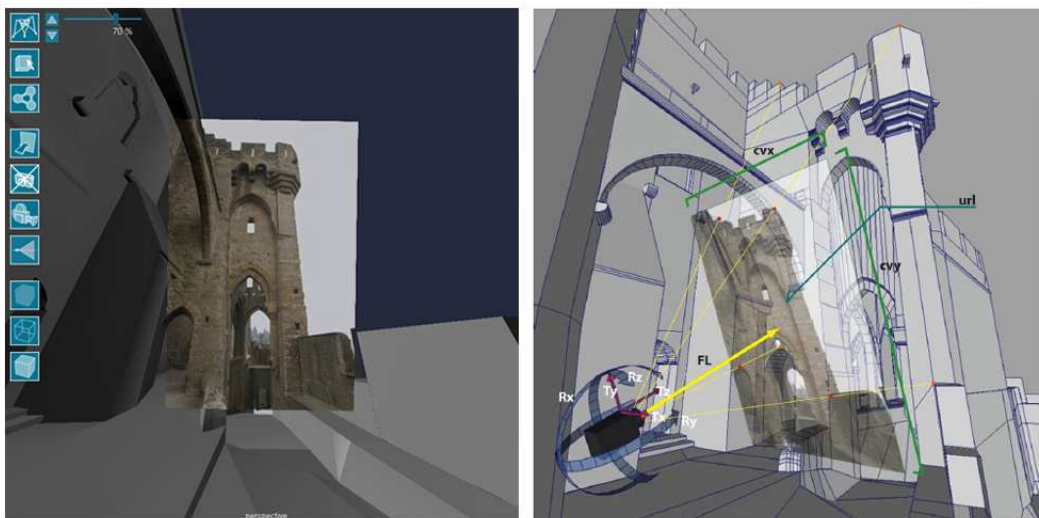


Figure 75 Récupération du point de vue de la source iconographique sélectionnée

Dès que le déplacement (de la position courante au point de vue de l'image) est terminé, le système affiche automatiquement un plan 2D orienté de façon normale à la caméra de navigation, texturé par la photo sélectionnée et calée sur la scène 3D. Pour visualiser correctement l'image à l'intérieur de la scène 3D, on utilise la valeur de distance focale (ou de zoom dans le cas d'une projection orthogonale) de l'image sélectionnée afin de calculer la distance entre le plan 2D et la position de la caméra de navigation.

8. Conclusions et perspectives

Notre travail s'est concentré sur la conception et le développement d'une méthodologie pour l'annotation sémantique de sources iconographiques par référencement spatial. Le point central de ce travail était d'exploiter la relation spatiale entre l'information 3D (maquette numérique) et l'information 2D (sources iconographiques). Notre méthode permet de superposer des éléments visuels 2D sur une scène 3D avec différents niveaux de précision, en relation aux différents degrés de cohérence géométrique existants entre l'édifice réel, sa reconstruction tridimensionnelle et l'ensemble de sources iconographiques bidimensionnelles que l'on peut collecter dans les archives (photos, dessins, peintures, etc.). La relation spatiale établie entre les informations 2D et 3D est enfin utilisée pour véhiculer les annotations sémantiques de la maquette numérique de l'édifice vers les sources iconographiques reliées.

La précision de la segmentation et de l'annotation sémantique des images dépendent principalement du processus de référencement spatial. Et le niveau de segmentation des images dépend essentiellement du niveau de décomposition de la représentation 3D. Ceci permet d'envisager de conduire de multiples segmentations et annotations sémantiques (en 3D comme en 2D) en fonction d'exigences d'analyse et d'étude particulières. De la même manière il est possible d'imaginer de projeter (du 3D vers le 2D) plein d'autres informations qui peuvent enrichir la description sémantique de la morphologie de l'édifice.

La solution proposée est en effet parfaitement répondante à des mises à jour de la structuration de la maquette 3D comme à l'ajout de nouvelles sources documentaires. Une maquette informatique du système de recherche d'images se base sur des critères spatiaux, morphologiques et sémantiques, ce qui a été développée sous forme d'application Web. Ses fonctionnalités sont disponibles d'hors et déjà pour les partenaires potentiels qui voudrons commencer à l'expérimenter dans des applications concrètes. Le système donne la possibilité d'accéder à une information riche d'une manière innovante et pourrait facilement être utilisé par des chercheurs, des spécialistes de la documentation et de la conservation du patrimoine ainsi que par le grand public.

En comparant notre système avec d'autres travaux de recherche sur l'annotation sémantique d'images, notre système requiert moins de manipulations que des solutions basées sur des méthodes manuelles (basées sur l'insertion systématique de mots-clés), et il est bien plus précis (en termes de détail et de paramétrage) que des solutions basées sur des méthodes automatiques (reconnaisances des formes).

De plus, notre système associe à l'image toute la richesse informationnelle contenue dans la représentation tridimensionnelle (dimensions, géométrie, etc.).

8.1. Limites

Notre méthodologie d'annotation sémantique d'images se base sur le référencement spatial. C'est la raison pour laquelle la qualité du référencement est vraiment importante. Or, certains types de sources iconographiques sont particulièrement difficiles (parfois impossibles) à spatialiser à cause de leur grande incohérence géométrique par rapport à la réalité. Au delà de l'incohérence, il peut également se présenter le cas d'un manque d'information dans la source 2D ou dans la représentation 3D. Ces manques peuvent causer des problèmes dans les deux sens:

- Un élément architectural peut être présent dans l'image mais pas dans le modèle 3D. Cette incohérence peut apparaître à cause des limites des processus de relevé 3D. Les édifices patrimoniaux peuvent avoir des extensions spatiales très importantes, et les éléments d'un édifice peuvent aussi être intègres à d'autres édifices ou à d'autres éléments urbains. Les limites de la reconstruction tridimensionnelle d'un édifice peuvent exclure des parties d'édifice qui apparaissent dans une image. Comme illustré dans la figure 76 la partie droite du dessin est absente dans le modèle 3D.

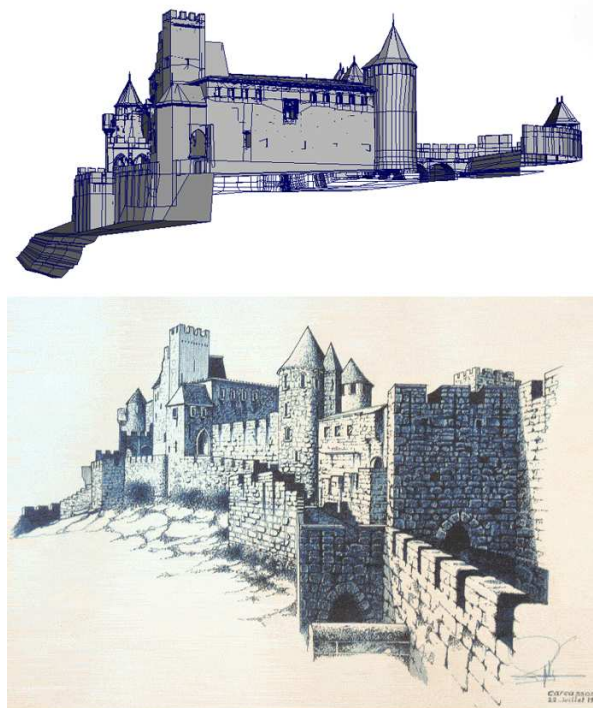


Figure 76 Incohérence entre le modèle 3D et l'image

- Un élément architectural (ou un ensemble d'éléments) peut également être présent dans le modèle 3D et absent dans l'image. Ceci peut se vérifier quand l'information présente dans l'image n'est pas aussi détaillée ou cohérente comme celle contenue dans la représentation 3D.

Par rapport à la projection, certaines sources iconographiques (notamment celle qui ne se basent pas sur des constructions perspectives) présentent aussi des représentations qui échappent complètement à une cohérence formelle avec la réalité (en termes de morphologie et de proportions à la fois)(voir figure 77).



Figure 77 Exemples des représentations échappent à une cohérence formelle avec la réalité (images du château Comtal, Carcassonne).

A cet aspect il faut également ajouter la dimension subjective que chaque auteur d'une source peut ajouter dans l'exécution de l'œuvre (voir figure 78). Des éléments représentés pourraient être complètement inventés ou supposés.



Figure 78 Exemples des images de point de vue subjective (images artistiques du château Comtal, Carcassonne).

Finalement, en ce qui concerne la dimension temporelle, il est évident que notre système ne peut prendre en considération que la mise en relation spatiale de sources 2D et modèles 3D qui représentent un même état temporel de l'édifice. Cette limite ouvre les champs des perspectives de recherche.

8.2. Perspectives de recherche

En fonction de la dernière limite identifiée dans le paragraphe précédent, la première perspective de recherche en vu d'une évolution de notre travail concerne la prise en compte d'un référencement temporel des sources iconographiques permettant de décliner des multiples représentations 3D de l'édifice en fonctions des transformations que l'édifice a subi dans le temps. Dans ce contexte, le rôle que le référencement spatial de sources iconographiques peut jouer pour la reconstruction des transformations temporelles des édifices patrimoniaux a fait l'objet d'un article que nous avons publié récemment [De Luca L. et al. 2010].

Une deuxième perspective de recherche concerne l'amélioration de notre méthode de référencement spatial (en particulier pour ce qui concerne les photographies). Comme nous l'avons bien expliqué dans le chapitre 6, pour un référencement géométrique, nous utilisons un algorithme de résection spatial qui nécessite d'un certain nombre de points homologues (en 2D et en 3D) pour déterminer le point de vue de l'image sur le modèle 3D. Or, différentes solutions d'analyse d'images (notamment la détection de lignes caractéristiques, de discontinuités, de parallélismes, etc.) pourraient être utilisées pour conduire un recalage automatique qui exploiterait aussi l'information géométrique contenue dans la maquette 3D (sommets, arêtes, normales, etc.). On pourrait par exemple imaginer de faire intervenir ces automatismes suite à un calage manuel approximatif de l'image sur le modèle 3D afin de bénéficier de la similarité des points de vue.

Une dernière perspective de recherche concerne la relation projective 2D/3D. Dans notre travail nous avons exploitée cette relation seulement dans un sens : on qualifie les images 2D à partir d'une maquette 3D sémantisée. Or, au vu des résultats récents du domaine de la photogrammétrie et de la vision par ordinateur en matière de mise en correspondance, calibration et orientation automatique d'ensemble d'images photographiques, cette relation pourrait bien être exploitée dans le sens inverse : conduire la caractérisation sémantique (segmentation et l'annotation) sur les photos pour structurer (par projection) une représentation 3D (nuages de points, maillages polygonaux, etc.) construite à partir des images.

Bibliographie

[AbdelAziz Y.I. et al., 1971] AbdelAziz Y.I., Karara H.M., Direct Linear Transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close range photogrammetry. Proceedings of the ASP/UI.1971

[Abmayr T. et al., 2004] Abmayr T., Härtl F., Mettenleiter M., Heinz I., Hildebrand A., Neumann B., Fröhlich C. Realistic 3D reconstruction – combining laserscan data with RGB color information. Proceedings of ISPRS International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol XXXV, Part B. Istanbul 2004. pp.198-203, 2004

[Akçay H.G. et al., 2007] Akçay H.G., Aksoy S. Automatic Detection of Geospatial Objects Using Multiple Hierarchical Segmentations, in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 46(7):2097-2111, July 2008.

[Aksoy S., 2006] Aksoy S., Dogrusoz E., Modeling urbanization using spatial building patterns, in Proceedings of 4th IAPR International Workshop on Pattern Recognition in Remote Sensing, Hong Kong, August 20, 2006.

[Almagro A. et al., 1996] Almagro A., Patias P., Waldhäusl P. The CIPA Otto Wagner Pavilion Test. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Vol.XXXI Part B5, pp. 463 – 470, 1996

[American Society of Photogrammetry, 1980] American Society of Photogrammetry, Manual of Photogrammetry, Fourth Édition, 1980

[Attene M. et al. 2007] Attene M., Robbiano F., Spagnuolo M. and Falcidieno B., Semantic Annotation of 3D Surface Meshes based on Feature Characterization, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4816 (SAMT'07 Procs.), pp. 126-139, 2007

[Attene M. et al., 2006] Attene M., Biasotti S., Mortara M., Patane G., Falcidieno B. : Computational methods for understanding 3D shapes. Computers & Graphics 2006; 30(3): 323-33, 2006

[Azzi Y., 2008] Azzi Y.:Images et contenus : classification et sémantisation de sources documentaires visuelles, MIAjournal, 2008

[Bhagavathy S. et al., 2007] Bhagavathy S., Manjunath B.S., Modeling and detection of geospatial objects using texture motifs, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2007

[Blaise J.Y. et al., 2004] Blaise J.Y., De Domenico F., De Luca L., Dudek I: Acquisition de données vs gestion de connaissances patrimoniales : le cas des vestiges du théâtre antique d'Arles, 2004

[Blaise J.Y. et al., 2007] Blaise J.Y., Dudek I.: Terminologie du corpus architectural : matière, forme ou idées ? Dans Actes de la Conférence TIA'07 - 7ème Conférence TIA 2007, Terminologie et Intelligence Artificielle, France, 2007

[Blaise J.Y., 2003] Blaise J.Y. Le formalisme objet appliqué à l'étude de l'édifice patrimoniale: Problèmes de modélisation et d'échanges de données sur le réseau Internet. Thèse de doctorat de l'Université d'Aix-Marseille III, Spécialité Automatique et Informatique, 2003

[Boehler W. et al., 2002a] Boehler W., Marbs A. 3D Scanning Instruments. Proceedings of the CIPA WG 6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording. Corfou, 2002

[Boehler W. et al., 2002b] Boehler W., Heinz G., Marbs A., Siebold M. 3D Scanning Software : an introduction. Proceedings of the CIPAWG 6 International CIPA WG Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording. Corfu, 2002

[Boehler W. et al., 2003] Boehler W., Bordas V., Marbs A. Investigating Laser Scanner Accuracy. Proceedings of The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV, Part 5/C15, pp. 696-701, 2003

[Borghese A. et al. 2000] Borghese A., Ferrari S. A Portable Modular System for Automatic Acquisition of 3-D Objects. IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 49, No.5, 200. pp. 1128- 1136, 2000

[Carbonnel M., 1968] [Carbonnell, 1968] Carbonnell M. L'histoire et la situation présente des applications de la photogrammétrie à l'architecture. Etude sur la photogrammétrie appliquée aux monuments historiques. Application of photogrammetry to historic monuments. ICOMOS, Saint-Mande, France, 4-6, VII, 1968

[Cipolla R. et al. 1999] Cipolla R., Robertson D., Boyer E. Photobuilder – 3D models of Architectural scenes from uncalibrated Images. Proceedings of the Conference on Multimedia Computing and Systems, June 1999

[Cipolla R. et al. 1999] Cipolla R., Robertson D., Boyer E. Photobuilder – 3D models of Architectural scenes from uncalibrated Images. Proceedings of the Conference on Multimedia Computing and Systems, June 1999

[Clark R.N., 2002] Clark R.N., Dynamic Range and Transfer Functions of Digital Images and Comparison to Film. ClarkVision.com online article, 3 July 2005

[Cosmas J. et al., 2001] Cosmas J., Itagaki T., Green D., Grabczewski E., Weimer F., Van Gool L.J., Zalesny A., Vanrintel D., Leberl F., Grabner M., Schindler K., Karner K.F., Gervautz M., Hynst S., Waelkens M., Pollefeys M., DeGeest R., Sablatnig R., Kampel M.: 3d murale: A multimedia system for archaeology. In: Virtual Real., Archaeol. and Cult. Herit. 297-306, 2001

[Cross J. et al.] Cross J., Baber C., Woolley S.I., Layered Annotations of Digital Images for Data Collection in the Field, iswc, pp.154, Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers, ISWC'03, 2003

[Damisch H., 1994] Damisch, H., The Origin of Perspective, Translated by John Goodman. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1994

- [d'Angelo P., 2007] d'Angelo P., Radiometric alignment and vignetting calibration, 2007
- [De Luca L. et al., 2010] De Luca L., Busarayath C., Stefani C., Renaudin N., Véron P., Florenzano M., An Iconography-Based modeling Approach for the Spatio-Temporal Analysis of Architectural Heritage. Proceedings of IEEE International Conference on Shape Modeling International. Aix-en-Provence, 21-23 June 2010
- [De Luca L., 2006] De Luca L., : Relevé et multi-représentations du patrimoine architectural Définition d'une approche hybride de reconstruction d'édifices Thèse de l'école doctorale Arts et Métiers ParisTech, Aix-en-Provence , Mars 2006
- [Dornaika F. et al., 2009] Dornaika, F.; Hammoudi, K, Extracting 3D Polyhedral Building Models from Aerial Images using a Featureless and Direct Approach. Proc. IAPR/MVA, 2009
- [Edelsbrunner H., 2001] Edelsbrunner H. Geometry and Topology for Mesh Generation, volume 6. Cambridge Monographs on Applied and Computational Mathematics. Cambridge University Press, 2001
- [Emgard K.L. et al., 2008] Emgard K.L., Zlatanova S.,. Design of an integrated 3D information model. In Urban and regional data management: UDMS annual 2007, Coors, Rumor, Fendel & Zlatanova (Eds.), Taylor & Francis Group, London, UK, pp. 143-156, 2008
- [Falcidieno B. et al., 1998] Falcidieno B., Spagnuolo M., A Shape-abstraction paradigm for modelling geometry and semantics. Proceedinf of the international Conference on Computer Graphics. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, 1998
- [Faugeras O., 1993] Faugeras O. et al., Camera selfcalibration: theory and experiments, G. Sandini (ed.), Proc 2nd ECCV, Vol. 588 of Lecture Notes in Computer Science, SpringerVerlag, Santa Margherita Ligure, Italy, pp. 321–334, 1992
- [Faugeras O., 1993] Faugeras O., Three-Dimensional Computer Vision : A Geometric Viewpoint. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1993
- [Feiner S. et al. 1997] Feiner S., Macintyre B., Hollerer T., Webster A., A touring machine: Prototyping 3d mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. In Proc. IEEE Int. Sym. on Wearable Computers, 74-81, 1997
- [Fergus R. et al., 2003] Fergus R., Fei-Fei L., Perona P., Zisserman A. Learning Object Categories from Google's Image Search. In Proceedings of the Tenth IEEE international Conference on Computer Vision - Volume 2 (October 17 - 20, 2005). ICCV. IEEE Computer Society, Washington, DC, 1816-1823, 2005
- [Fitzgibbon A.W. et al., 1998] Fitzgibbon A.W., Zisserman A. Automatic 3D Model Acquisition and Generation of New Images from Video Sequences. Proceedings of European Signal Processing conference (EUSPICO '98). Rhodes, Greece. pp. 1261-1269, 1998
- [Flickner M. et al., 1995] Flickner M., Sawhney H., Niblack W., Ashley J., Qian Huang, Dom B., Gorkani M., Hafner J., Lee D., Petkovic D., Steele D., Yanker P., Query by Image and Video Content. the QBIC system. IEEE Computer, 28(9), 23-32, 1995
- [Flickr], <http://www.flickr.com>

[Floater M. et al. 1998] Floater M., Iske A. Thinning Algorithms for Scattered Data Interpolation. BIT Numerical Mathematics, Vol. 38, No 4, 1998. pp. 705-720, 1998

[Foley J., 2000] Foley J. et al., Getting There : The Ten Top Problems Left, IEEE Computer Graphics and Application, Vol. 20, No 1, pp. 66-68, 2000

[Gaiani M., 1999] Gaiani M. : Translating the architecture of the world into virtual reality and vice-versa: 7 years of experimentation with conservation and representation at OFF. Proceedings of Heritage Applications of 3D Digital Imaging. Ottawa, Canada, 1999

[Galer M. et al., 2005] Galer M., Horvat L, Digital Imaging. Elsevier. ISBN 024051971X, 2005

[Gary R. B. et al., 2002] Gary R. B. et al. Technical Graphics Communication. McGraw-Hill Professional, 2002. ISBN 0073655988, p.330, 2002

[Gerald F et al., 1998] Gerald F, Brommer, Exploring Drawing. Worcester, Massachusetts: Davis Publications, 1988

[Gernsheim H., 1986] Gernsheim H., A concise history of photography,.Courier Dover Publications. pp.3-4. ISBN 0486251284, 1986

[Godse A.P.,1980] Godse, A.P., Computer graphics. Technical Publications. pp. 29. ISBN 8184315589,1980

[Gong Y. et al., 1994] Gong Y., Zhang H., Chuan H.C., Sakauchi M., Animage database system with content capturing and fast image indexing abilities. In: Proceedings of IEEE Int. Conf. on Multimedia Computing and Systems, 1994

[Goulette, 1999] Sémantique formelle de l'espace : Application au raisonnement spatial qualitatif en architecture. Intellectica : Revue de l'Association pour la Recherche Cognitive. N°29, pp. 9-34, 1999

[Gruber T.R., 1993] Gruber T.R.: Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. In Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation, edited by Nicola Guarino and Roberto Poli, Kluwer Academic Publishers, in press. Substantial revision of paper presented at the International Workshop on Formal Ontology, March 1993

[Grussenmeyer P. et al., 2001] Grussenmeyer P., Hanke K., Streilein A. Photogrammetrie architecturale. Chapitre du livre, Photogrammétrie numérique. Éditions Lavoisier-Hermès, 2001

[Grussenmeyer, P. et al., 1999] Grussenmeyer P., Koehl M., Nour el Din M.:3D Geometric and semantic modelling in historic sites,XVII. CIPA International Symposium, October 3-6, 1999

[Guarino N., 1998] Guarino N.M. : Formal Ontology and Information Systems. In N. Guarino (ed.), Formal Ontology in Information Systems. Proc. of the 1st International Conference, Trento, Italy, 6-8 June 1998

[Guyonnet F., 2000] Guyonnet F., Aude Cite de Carcassonne Château Comtal, Document Final de Synthèse, intervention archéologique, mars-avril 2000

- [Halaschek-Wiener C. et al., 2005] Halaschek-Wiener C., Jennifer G., Andrew S., Michael G., Bijan P., Jim H.: PhotoStuff -- An Image Annotation Tool for the Semantic Web, 2005
- [Hartley R., 1997] Hartley R. In defense of the eight-point algorithm. PAMI. Vol. 19/6, pp. 580-593, 1997
- [Heikkila J. et al., 1997] Heikkila J., Silven O. A Four-Step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction. Proceedings of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, . pp. 1106-1112, 1997
- [Herbig U. et al., 1997.] Herbig, U., Waldhäusl, P., APIS – Architectural photogrammetry information system. IAPRS, 32(5C1B), pp. 23-27., 1997, accessed December 2004
- [Hirsch R., 2000] Seizing the Light: A History of Photography, McGraw-Hill, 2000
- [Hu Z. et al. 2006] Hu Z., Uchimura K.:Fusion of Vision,GPS and 3D Gyro Data in Solving Camera Registration Problem for Direct Visual Navigation",International Journal of ITS,4,1,pp.3-12 , December 2006
- [Hyman I.C., 1974]. Hyman I.C., Brunelleschi in Perspective. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1974
- [Johansson B. et al., 2002a] Johansson B., Kahl F.M.:Detecting Windows in City Scenes. In Proc. of International Workshop on Pattern Recognition with Support Vector Machines, ICPR, 2002
- [Johansson B. et al., 2002b] Johansson B., Cipolla R.. A System for Automatic Pose-Estimation from a Single Image in a City Scene. In Proc. of International Conference on Signal Processing, Pattern Recognition, and Applications, Crete, Greece, 2002
- [Kadobayashi R. et al.,2005] Kadobayashi R., Tanaka K.:3D Viewpoint-based Photo Search and InformationBrowsing, Annual ACM Conference on Research and Development in Information Retrieval, Salvador, Brazil, in poster session, Pages: 621 - 622 , 2005
- [Kang H. et al., 2000] Kang H., Shneiderman B., Visualization Methods for Personal Photo Collections: Browsing and Searching in the PhotoFinder, Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo, New York: IEEE, pp. 1539-1542, 2000
- [Karathanassi V. et al., 2000] Karathanassi V., Iossifidis C., Rokos D., A texture-based classification method for classifying built areas according to their density, International Journal of Remote Sensing, vol. 21, no. 9, pp. 1807–1823, September 2000
- [Kemp M., 1992] Kemp M., The Science of Art: Optical Themes in Western Art from Brunelleschi to Seurat. Yale University Press, 1992
- [Kleinbauer W.E. et al., 1982] Kleinbauer W.E. , Thomas P. Slavens, Research Guide to the History of Western Art, Sources of information in the humanities, no. 2. Chicago: American Library Association: 60-72, 1982
- [Kodabayashi R. et al, 2005] Kadobayashi R., Tanaka K., 3D viewpoint-based photo search and information browsing. In Proceedings of the 28th Annual international ACM SIGIR Conference on Research and Development in information Retrieval (Salvador, Brazil, August 15 - 19, 2005). SIGIR '05. ACM, New York, NY, 621-622, 2005

- [Kraus K. et al., 1997] Kraus K., Waldhau P. Manuel de photogrammétrie : principes et procédés fondamentaux. Hermes, 1997
- [Kuchinsky A. et al., 2002] Kuchinsky A., Pering C., Creech M.L., Freeze D., Serra B., Gwizdka J.: FotoFile: A Consumer Multimedia Organization and Retrieval System, Proc. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '99), pp. 496-503, 1999
- [Kumar R. et al., 1994] Kumar R., Hanson A. Robust Methods for Estimating Pose and a Sensitivity Analysis. CVGIP-Image Understanding. Vol. 60, No. 3, 1994. pp 313-342, 1994
- [Kumar S. et al., 2004] Kumar, S., Herbert, M.: Discriminative fields for modeling spatial dependencies in natural images. In: NIPS, 2004
- [Lee S.C. et al., 2002] Lee S.C., Jung S.K., Nevatia R., "Automatic Pose Estimation of Complex 3D Building Models", [PDF], IEEE Workshop on Application of Computer Vision, 148-152, 2002
- [Lieberman H., 2000] Lieberman H., An agent for integrated annotation and retrieval of images. Paper presented at Workshop on Personal Photo Libraries: Innovative Designs. University of Maryland, 1 June 2000
- [Littlefield R., 2006] Littlefield R., Theory of the "No-Parallax" Point in Panorama Photography, 2006
- [Lowe D.G., 1999] Lowe D.G., Object recognition from local scale-invariant features [archive], Proceedings of the International Conference on Computer Vision 2: 1150–1157, 1999
- [MacEachren A.M. et al., 2005] MacEachren, A.M. et al., Visualizing Geospatial Information Uncertainty: What We Know and What We Need to Know. Cartography and Geographic Information Science, 32(3), 139-160, 2005
- [Manferdini A.M. et al., 2008] Manferdini A.M., Remondino F., Baldissini S., Gaiani M., Benedetti B.: 3D modeling and semantic classification of archaeological finds for management and visualization in 3D archaeological databases. Proc. of 14th Int. Conference on Virtual Systems and MultiMedia (VSMM), pp. 221-228, Limassol, Cyprus, 2008
- [Marbs A. et al., 2001] Marbs A., Heinz G., Boehler W. The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording. Proceedings of CIPA International Symposium. Potsdam, Germany, 2001
- [Mayer H., 1999] Mayer H., Automatic object extraction from aerial imagery — a survey focusing on buildings, Computer Vision and Image Understanding, vol. 74, no. 2, pp. 138–149, May 1999
- [Maynard P., 2005] Maynard, P., Drawing distinctions: the varieties of graphic expression. Cornell University Press. pp. 22. ISBN 0801472806, 2005
- [McReynolds T. et al., 2005] McReynolds T., David B., Advanced graphics programming using OpenGL. Elsevier. pp. 502. ISBN 1558606599, 2005

[Menci R. et al., 1998] Menci R., Mueller H. Interpolation and Approximations of surfaces from Three- DimensionalScattered Data Points. State of the Art. Proceedings of Eurographics Conference. Lisbon, Portugal, 1998

[Mueller P. et al., 2006] Mueller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., Van Gool, L., Procedural modeling of buildings. Proc. of ACM SIGGRAPH 2006 / ACM Transactions on Graphics, 25(3), pp. 614-623, 2006

[Nubes], [http:// www.map.archi.fr/nubes](http://www.map.archi.fr/nubes)

[Omega] Déclaration d'invention présentée au nom du CNRS et faisant l'objet d'une demande de brevet déposée par le Cabinet Plasseraud le 16 juin 2009 sous le numéro FR 09 54 054 : OMEGA – ORIENTATION MODULE (inventeurs : Livio De Luca, Matthieu Deveau), 2009

[Ono A. et al. 1996] Ono A., Amano M., Hakaridani M., Satou T., Sakauchi M., A flexible content-based image retrieval system with combined scene description keyword. In: Proceedings of IEEE Int. Conf. on Multimedia Computing and Systems, pp. 201-208, 1996

[Palladio A., 1992] Palladio, A., I Quattro Libri dell'Architettura Edizioni Studio Tesi., Pordenone, 1992

[Pang A.T. et al., 1997] Pang, A.T., Wittenbrink, C.M. & Lodh, S.K., Approaches to Uncertainty Visualization. The Visual Computer, 13(8), 370-390, 1997

[Perrault C., 1684] Perrault, C. Les dix livres d'architecture de Vitruve, Pierre Mardaga, 1684

[Petridis K. et al., 2006] Petridis K, Anastasopoulos D, Saathoff C, Timmermann N, Kompatsiaris I, Staab S. M-OntoMat-Annotizer: Image annotation linking ontologies and multimedia low-level features. In: KES 2006 10th Intl. conf. on knowledge based, intelligent information and engineering systems, 2006

[Pierrot-Desseilligny M., 2007] Pierrot-Deseilligny M., "MicMac, un logiciel de mise en correspondance d'images, adapté au contexte géographique" to appears in Bulletin d'information de l'Institut Géographique National, 2007

[Pollefeys M. et al., 2000] Pollefeys M., Van Gool L., Vergauwen M., Verbiest F., Cornelis K., Tops J., Koch R.: Visual modeling with a hand-held camera. Int. J. of Computer Vis.59(3) 207-232, 2004

[Quintrand P. et al., 1985] Quintrand P., Autran J., Florenzano M., Fregier M., Zoller J., La CAO en architecture. Hermes, Paris, 1985

[Rand G. et al., 2005] Rand G., Litschel D., Davis R., Digital Photographic Capture. Elsevier. ISBN 0240806328, 2005

[Remondino F., 2003] Remondino F. From point cloud to surface : the modeling and visualizaion problem. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV, part 5/W10. ISPRS International Workshop on "Visualization and Animation of Reality-based 3D Models". Tarasp-Vulpera, Switzerland, 2003

[Riya], <http://www.riya.com>