

Architecte, docteur en sciences de l'ingénieur - spécialité conception (HESAM Université), Violette Abergel est ingénieur de recherche au sein de la Fondation des Sciences du Patrimoine. Ses activités de recherche portent sur les outils numériques dédiés à l'étude, l'analyse et la représentation du patrimoine culturel. Elle est membre du Consortium 3D SHS (TGIR HumaNum), du comité scientifique du symposium REAACH-ID, ainsi que du groupe de travail « données numériques » du chantier scientifique CNRS/Ministère de la Culture pour la restauration de Notre-Dame de Paris. Elle développe dans ce cadre un environnement de visualisation 3D interactive pour la plateforme numérique nDame. Elle est actuellement impliquée le cadre du projet ESPADON, qui vise la production de « l'objet patrimonial augmenté », un environnement permettant d'agréger, documenter, et analyser les ressources et connaissances pluridisciplinaires produites autour d'un même objet d'étude.

Relevé numérique d'art pariétal : définition d'une approche innovante combinant propriétés géométriques, visuelles et sémantiques au sein d'un environnement de réalité mixte.

Thèse de doctorat en Conception et Sciences de l'ingénieur sous la direction de Livio de Luca et Philippe Veron, École nationale Supérieure d'Arts et Métiers – HESAM Université.

A la base de nombreuses disciplines dont l'architecture et l'archéologie, se trouve la notion de relevé, qui correspond au processus visant à établir, par l'intermédiaire de la représentation, un état des lieux de l'objet étudié, c'est-à-dire de sa forme et des concepts qu'il supporte. Il s'agit d'une opération d'observation, d'analyse et de synthèse qui consiste autant à extraire des informations portées par l'objet étudié qu'à les transmettre. À ce titre, pour un observateur face à son objet d'étude le relevé constitue un moment privilégié de connaissance qui présente principalement deux visées : mémoriser l'objet étudié dans ses composantes formelles (dimensions, proportions, matériaux, aspect, ...), mais aussi sélectionner les informations (techniques, relations entre les éléments, concepts, ...) et les hiérarchiser afin de donner les clés d'interprétation. Dans le cas des pratiques dites « analogiques », ces opérations sont essentiellement empiriques et reposent principalement sur la transcription géométrique d'éléments significatifs, le dessin, et certaines techniques d'imagerie.

Toutefois, les progrès de ces dernières décennies dans les domaines de l'informatique et de la métrologie ont favorisé l'essor d'outils numériques de mesure de l'existant. Si le numérique n'a pas fondamentalement remis en question les méthodes elles-mêmes, l'amélioration de leur précision, de l'automatisation, et de la capacité de mémorisation ont, en revanche, constitué une évolution décisive pour de nombreuses disciplines. Dans le domaine du patrimoine, l'introduction des technologies numériques a rendu possible la collecte massive de données 2D et 3D en réponse à des besoins variés d'étude, de suivi, de documentation, d'archivage, ou encore de valorisation. Ces données constituent autant de nouveaux supports précieux pour la compréhension des objets d'étude, en particulier en ce qui concerne leur caractérisation morphologique. Cependant, au-delà de l'enthousiasme suscité par la découverte des très nombreux potentiels de ces nouveaux supports, nous pouvons constater que les données produites lors de relevés numériques demeurent souvent sous-exploitées, faute d'outils adaptés pour faciliter leur manipulation, leur analyse, et leur enrichissement sémantique.

En outre, la capacité à numériser rapidement et massivement les objets patrimoniaux, à travers la reproduction fidèle de leurs attributs géométriques et visuels, introduit un changement de paradigme

majeur pour le relevé. Si dans un relevé analogique l'engagement analytique de l'observateur est mobilisé *in situ* face à l'objet d'étude, dans le cadre d'un relevé numérique la sélection d'éléments signifiants, leur interprétation, et leur hiérarchisation interviennent *ex situ* auprès d'une copie 3D. La dissociation, des moments d'acquisition, puis d'interprétation et de représentation constitue un changement majeur dans le processus du relevé, qui ne relève plus d'un moment unique d'observation du réel, mais plutôt d'une capacité à trier, écarter et mettre en relation des données virtuelles. Cette rupture entre les environnements réels et virtuels introduit une discontinuité sur le plan de la connaissance qui se manifeste notamment par un effet de dispersion des données et une singulière difficulté à assurer la corrélation des connaissances au sein d'équipes pluridisciplinaires.

Dans ce travail de thèse, nous nous intéressons à un cas d'étude particulier qui cristallise les enjeux de ce changement de paradigme : les grottes ornées. Ce vocable réunit les sites d'art pariétal du territoire national, un corpus d'entités aux statuts multiples (monuments, sites archéologiques, éléments du paysage naturel, ...) constitué de typologies très variées, dont la majorité est classée ou inscrite au titre des monuments historiques. De fait, ces sites constituent des cas d'étude d'une grande complexité, tant du point de vue morphologique que du point de vue de la diversité des informations qu'ils supportent, d'autant plus qu'extrêmement sensibles, ils ne supportent aucune forme de restauration. Leur étude sollicite donc une grande variété de disciplines et de techniques complémentaires. Cependant, si tous les acteurs s'intéressent bien au même objet patrimonial, il subsiste des différences de langages, de méthodes ou d'outils qui rendent le croisement d'informations délicat.

Dans ce contexte, les apports des données numériques sont incontestables, et répondent à des besoins multiples. Cependant, comme le souligne la littérature, l'étude des grottes ornées ne saurait faire l'économie du processus de découverte apporté par le travail *in situ*. Il ne s'agit pas ici d'un fait uniquement lié aux limites des technologies d'acquisition en termes de précision ou d'exhaustivité, mais bien de l'importance de l'engagement cognitif de l'observateur face à son objet d'étude, relégué derrière le dispositif de mesure dans le cas d'une interprétation *ex situ* lors d'un relevé numérique. L'analyse de ce contexte fait émerger la nécessité d'un nouveau paradigme pour le relevé – notamment pariétal. Il s'agit de l'envisager comme un cycle, un processus dynamique et itératif comprenant des phases *in situ* et *ex situ*, conciliant les apports du relevé numérique en termes de caractérisation géométrique, et ceux du relevé analogique en termes d'interprétation et d'enrichissement sémantique.

Si d'un point de vue quantitatif et formel, la capacité computationnelle apportée par les outils informatiques vis-à-vis des ressources numériques 2D ou 3D dépasse largement celle des outils de traitement analogique, à l'inverse, ces mêmes outils sont très largement en deçà des capacités cognitives humaines, particulièrement dans des scénarios d'enrichissement de connaissance. Cette dichotomie se manifeste dans la littérature par de récurrentes mises en opposition des méthodes de relevé patrimonial, dont il s'agit souvent d'évaluer laquelle prévaut et dans quel(s) contexte(s). Pour ce travail de thèse, notre posture est contraire. En effet, l'analyse des pratiques actuelles révèle très clairement la nécessité de les considérer comme complémentaires et de les faire converger dans une approche unique afin de bénéficier de leurs apports respectifs. Ainsi, le relevé d'art pariétal se heurte aujourd'hui à deux problèmes majeurs : d'une part un effet de dispersion des données, informations et connaissances, dû à la diversité des acteurs, outils et méthodes de traitement ; d'autre part une rupture entre l'engagement cognitif des observateurs lors des moments d'étude sur site et l'ensemble

des traitements réalisés hors site, ou autrement dit, entre les environnements de travail réels et virtuels.

Cette thèse propose de répondre à ces problèmes par la définition d'une approche intégrée permettant la fusion des aspects géométriques, visuels et sémantiques du relevé au sein d'un environnement de réalité mixte multimodal. A la croisée des domaines des systèmes d'informations patrimoniaux et de la réalité mixte, notre objectif est de garantir la continuité des travaux menés *in situ* et *ex situ*. Ce travail a abouti au développement d'une preuve de concept fonctionnelle permettant la consultation de données numériques 2D et 3D issues de relevé et leur annotation sémantique en réalité augmentée via une interface web.