Le projet VERSPERA

Numérisation, recherche et modélisation 3D des plans d'Ancien Régime de Versailles

Michel Jordan, Benjamin Ringot

Université de Cergy-Pontoise, Centre de recherche du château de Versailles

Les plans, coupes et élévations du château de Versailles qui nous sont parvenus, sont témoins des étapes de sa construction, de son évolution mais aussi des projets qui ont pu être envisagés sous l'Ancien Régime. Fonds précieux et fragiles, sans cesse consultés pour y étudier tel ou tel aspect, ces dessins sont pour les historiens et historiens d'Art, une mine documentaire incontournable. Afin de faciliter la recherche et dans un contexte de développement des humanités numériques, de systématisation de la numérisation et de création du *LabEx Patrima* du Ministère de la Culture, le Centre de recherche du château de Versailles, sous l'impulsion de son directeur scientifique Mathieu da Vinha, pilote depuis janvier 2013 le projet de recherche *VERSPERA* [1].

Ce projet vise à la numérisation et à la modélisation des plans de Versailles sous l'Ancien Régime au travers de trois objectifs. D'une part, préserver des fonds fragiles et précieux grâce à la numérisation des documents et mettre fin à leur communication systématique ; d'autre part, mettre à disposition du public les numérisations *via* un corpus virtuel consultable en haute définition, soit pour découvrir l'histoire du château au travers de ses plans soit pour l'étudier ; enfin, pouvoir modéliser rapidement des espaces à partir de plans anciens afin de les rendre à nouveau compréhensible, surtout en cas de disparition.

Pour atteindre ces trois objectifs, un partenariat s'est noué autour de quatre institutions : le Centre de recherche du château de Versailles comme pilote du projet, entité qui définit le corpus documentaire et acteur de la recherche sur l'histoire du château, de ses jardins et de la ville de Versailles ; les Archives nationales et la Bibliothèque

1. VERSPERA, page consultée le 23 juin 2019, site institutionnel du projet, www.verspera.fr.

nationale de France comme dépositaires des principaux fonds de dessins concernant Versailles et gestionnaires de la numérisation, de la restauration et de la conservation ; enfin, le laboratoire ETIS, unité mixte de recherche commune à l'université de Cergy-Pontoise, à l'ENSEA Cergy et au CNRS, spécialisée dans le domaine des sciences et traitement de l'information et dans l'extraction de descripteurs de contenu visuel à partir de documents multimédia, comme développeur du programme permettant la modélisation 3D.

Ce partenariat a pu voir le jour grâce au soutien financier de la Fondation des sciences du patrimoine. Cette dernière a pour principe de favoriser des projets faisant se rencontrer les acteurs des sciences humaines et sciences exactes autour de fonds archivistiques ou muséologiques, objet même du projet VERSPERA alliant patrimoine, numérisation, modélisation et recherche.

1 Constituer le corpus de référence

Étape préalable à la numérisation, il a été nécessaire de déterminer le corpus exact des plans à numériser. Hérités de la direction des Bâtiments du roi et des agences des premiers architectes, de Louis Le Vau à Richard Mique, en passant par Jules Hardouin-Mansart, Robert de Cotte ou Ange-Jacques Gabriel, ces dessins sont aujourd'hui principalement conservés dans les fonds des Archives nationales et de la Bibliothèque nationale de France. Ils forment l'un des plus grands fonds publics d'architecture et le plus important sur l'architecture palatiale classique française des XVII^{e} et XVIII^{e} siècles, auquel peuvent seules être comparées les collections Tessin-Härleman et Cronstedt du Nationalmuseum de Stockholm.

Aux archives nationales, plus de 7 500 dessins ont été identifiés et face à leur quantité, il a été nécessaire de les diviser en trois blocs dont le traitement doit s'échelonner dans le temps [2]. Le premier appelé AN^{1} concerne le château et a d'ores et déjà été traité puis mis en ligne en décembre 2017. Le second, AN^{2}, concerne, lui, les jardins et le parc, les Grand Trianon et Petit Trianon, il est en cour d'achèvement pour être mis en ligne en 2020. Enfin AN^{3}, le domaine et la ville de Versailles, dont le traitement débute et dont la mise en ligne s'achèvera entre 2021 et 2023.

À la Bibliothèque nationale [3], environ 561 dessins ont été identifiés et se répartissent entre le fonds dit Robert de Cotte [4] du nom de l'architecte de Louis XIV et Louis XV, et le département des estampes et photographie, section Topographie. Ici, les choses différent avec les Archives nationales car presque tout le fonds Robert de Cotte était déjà en ligne sur le portail Internet « Gallica » et seule la topographie a nécessité la réalisation d'un inventaire et d'une numérisation systématique dans le cadre de

2. Les dessins sont conservés dans la série VA et les sous-séries O^{1}, F^{13} et F^{21}, NI Seine-et-Oise, NII Seine-et-Oise et NIII Seine-et-Oise.

3. Le projet y est piloté par Corinne Le Bitouzé, conservateur général, adjoint au directeur du département des Estampes et de la photographie, chargée des collections XVII^{e}.

4. Le travail étant facilité par l'existence d'un inventaire dressé par François Fossier : *Les dessins du fonds Robert de Cotte de la Bibliothèque nationale de France : architecture et décor*, Paris, Bibliothèque nationale de France, 1996 ; sur ces fonds voir : Jude Talbot, « Le fonds du cabinet d'architecture Robert de Cotte », *in* VERSPERA. Numérisation et modélisation des plans de Versailles sous l'Ancien Régime, 2016, page consultée le 23 juin 2019, https://verspera.hypotheses.org/133.

Published in : PATIN, Stéphane (dir.), *Les enjeux du numérique en sciences sociales et humaines. Vers un* homo numericus ?, Editions des archives contemporaines, Coll. «InterCulturel», ISBN : 9782813003867,
doi : 10.17184/eac.9782813003867

VERSPERA. L'ensemble des 800 dessins a été numérisé puis mis en ligne en mai 2019.

2 Du recollement à la numérisation : le cas des Archives nationales [5]

Le projet VERSPERA, par son engagement dans le temps, a permis de réaliser aux Archives nationales des travaux titanesque de récolement, de restauration, de conservation et de numérisation hors du commun mobilisant fortement plusieurs services au sein de l'institution.

3 Un récolement intégral

Profitant du lancement du projet VERSPERA, Pierre Jugie, conservateur en chef du patrimoine aux Archives nationales, en charge du fonds de la Maison du roi d'Ancien Régime (O^1) et des Monuments ecclésiastiques (L et LL), a lancé un inventaire méthodique de l'ensemble des documents graphiques conservés dans les fonds des AN. Le principe, ambitieux, a été de reprendre les inventaires établis entre 1983 et 1989 [6] par M^{me} Gallet-Guerne et M. Baulez et de procéder à un récolement intégral en y ajoutant les documents qui n'avait pas été pris ne compte, notamment dans les sous-séries NI à NIII. Ce travail a permis d'avérer la présence ou non des dessins, de vérifier les informations et de constater l'état des documents pour décider ou non de les faire restaurer. Débuté en 2013, ce travail titanesque est toujours en cours. Il a bénéficié, pendant les premiers temps, de l'assistance de Lucie Papin, attachée de recherche, grâce aux financements apportés par le projet VERSPERA.

De ce travail de fourmi est issu un tableau de récolement de dix-huit colonnes avec autant de lignes que de clichés à prendre, comprenant aussi bien les informations classiques liées aux inventaires que les informations destinées aux photographes, aux restaurateurs et au pôle informatique des Archives.

4 Restauration et conservation

En dehors de la fin de leur communication systématique, la restauration et la conservation des documents anciens est une des conséquences bénéfiques du projet VERSPERA. D'ailleurs, il faut noter que l'état de conservation a eu un grand impact sur le processus de traitement et a nécessité une forte implication des équipes des ateliers de restauration des Archives nationales.

Le travail préalable de recollement pièce à pièce a permis également de revoir la manière de conserver les plans, non plus pliés mais à plat, et dans le cas de grands formats ou de papiers dit japonais, d'innover en fabricant au sein des Archives nationales des conditionnements spécifiques. Ainsi, un plan de très grand format (fig. 1) (au moins 3 x 4 m) représentant la distribution du grand entablement de l'ordre corinthien dans

5. Les principes ont été les mêmes pour la Bibliothèque nationale de France.

6. Danièle Gallet-Guerne avec la collaboration de Christian Baulez, *Versailles. Dessins d'architecture de la direction générale des Bâtiments du roi*, Paris, Archives nationales, 1983 et 1989, 2 vol.

Published in : PATIN, Stéphane (dir.), *Les enjeux du numérique en sciences sociales et humaines. Vers un* homo numericus ?, Editions des archives contemporaines, Coll. «InterCulturel», ISBN : 9782813003867, doi : 10.17184/eac.9782813003867

l'Aile neuve et le pavillon de Versailles autour de 1774 [7], conservé plié dans un carton depuis plusieurs décennies ne pouvait plus être communiqué aux chercheurs de par son état, chaque ouverture endommageant un peu plus le document.

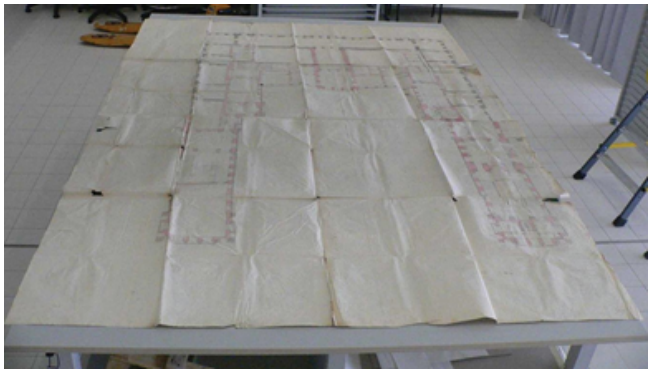


Figure 1 – Plan avant restauration déplié. Archives nationales, O/1/1778/5/No.11. © VERSPERA/ Archives nationales

Pour restaurer ce type de dessins, des opérations de restaurations de grandes envergures ont été nécessaires. Dans un premier temps, déplié, le plan a été remis en tension. Pour ce faire, une humidification préalable est réalisée puis des bandes latérales provisoires de mise en tension sont posées sur le dessin et sur un cadre. Le plan est alors laissé dans une atmosphère confinée et humide pour le tendre [8].



Figure 2 – Elément sur mesure en forme de vague servant à la conservation des plans grands formats fragiles aux Archives nationales. © VERSPERA/Archives nationales

7. Paris, Archives nationales, O/1/1778, dossier 5, n° 11.

8. Ce type d'opération a fait l'objet de présentation spécifique : Atelier de restauration des Archives nationales, « Restaurer les grands formats. La restauration des plans XVIII^{e} du château de Versailles réalisée dans le cadre du projet VERSPERA », journée d'études « Cartes en plans en services d'archives et bibliothèques » (Besançon, Archives départementales du Doubs, 20 octobre 2016).

Published in : PATIN, Stéphane (dir.), *Les enjeux du numérique en sciences sociales et humaines. Vers un* homo numericus ?, Editions des archives contemporaines, Coll. «InterCulturel», ISBN : 9782813003867,
doi : 10.17184/eac.9782813003867

Une fois que le plan a retrouvé un état satisfaisant, les Archives nationales ont également développé des conditionnements spécifiques pour sa conservation définitive grâce à l'achat d'une table de découpe contrôlée par ordinateur. Il a pu ainsi être créé divers conditionnement dont les formes s'adaptent mieux aux besoins spécifiques de chaque plan problématique : des cylindres ou bien un élément en forme de vague (fig. 2). Pour le cas de ce dernier, il a été prévu également une boite fabriquée sur-mesure en polypropylène cannelé pour conserver l'ensemble [9].

5 Les opérations de numérisation

Si la numérisation d'une grande partie des documents a pu être déléguée à un prestataire extérieur, pour les plans les plus fragiles restaurés en interne et pour ceux les plus complexes portant un très grand nombre de retombes, le travail a été réalisé par les photographes des Archives nationales sur le nouveau site de Pierrefitte-sur-Seine disposant d'équipements flambants neufs.

Afin de numériser tous les types de documents, plusieurs machines ont été sollicitées. La première, un numériseur à plat [10], destinés aux dessins de taille petite à moyenne, de 90 à 130 cm, a permis d'en traiter une quantité importante de documents. Pour les grands formats, deux plateaux de prise de vue ont été utilisés. Le premier, un plateau à aspiration et à aimantation, pouvant traiter des dessins de 2 à 3 mètres de superficie, a comme caractéristique de permettre de fixer par des petits aimants les retombes des plans et ainsi faire les différents clichés nécessaires. Le second, grâce à un dos numérique matriciel lié à un ordinateur et fonctionnant par aimantation et non par aspiration vu la taille des documents allant de 3,5 à 5 mètres, permet, quant à lui, des qualités de numérisation exceptionnelles. Pour mémoire la numérisation s'effectue en 300 dpi et les masters sont au format TIFF.

Pour les documents les plus grands, les Archives ont utilisé la technique de prise de vue dite segmentée. Un logiciel permet ensuite de réunir plusieurs prises de vues au pixel près. C'est un travail extraordinaire de calage et de précision de la part des photographes pour qu'aucune différence de planéité des images ne vienne gâcher la numérisation.

De manière générale, les archives ont dû mettre en place des procédures innovantes [11] pour faire face à des défis techniques, notamment à cause des dimensions de certains documents ou à la présence de nombreuses et complexes retombes de papier.

6 Le travail du Centre de recherche. La mise en ligne

Une fois l'étape de la numérisation passée, reste l'étape fondamentale de la mise à disposition des fonds numérisés aux chercheurs et au grand public, un des trois grands objectifs de VERSPERA. Le principe général de la diffusion des images a été fixé dans

9. À ce sujet voir : Ludivine Leroy-Banti, « Hokusai à Versailles ! Conditionnement spécifique pour un plan d'exécution d'une colonne du château de Versailles », *in* VERSPERA. Numérisation et modélisation des plans de Versailles sous l'Ancien Régime, 2016, page consulté le 23 juin 2019, https://verspera.hypotheses.org/145.

10. Numériseur DRS A0 de Métis.

11. Voir sur ces questions : Pierre Jugie, Éric Laforest et Marc Paturange, « Numérisation et modélisation des plans de Versailles sous l'Ancien Régime (VERSPERA) », *in* Support, Tracé, 2017, No. 17.

Published in : PATIN, Stéphane (dir.), *Les enjeux du numérique en sciences sociales et humaines. Vers un* homo numericus ?, Editions des archives contemporaines, Coll. «InterCulturel», ISBN : 9782813003867, doi : 10.17184/eac.9782813003867

la convention de partenariat. Ainsi, les Archives nationales fournissent les images qu'ils numérisent à ETIS et au Centre de recherche et mettent en ligne lesdites images dans leur Salle Virtuelle des Inventaires [12] (SIV). La Bibliothèque nationale de France met à disposition ses images numériques à ETIS et au Centre de recherche, et met en ligne les images sur son site Gallica [13] Enfin, le Centre de recherche récupérant les images des Archives nationales et de la Bibliothèque nationale, les met en ligne dans sa banque d'image [14] qui doit servir ainsi de réceptacle et d'outil de diffusion pour l'ensemble du corpus de VERSPERA. À terme, le corpus numérisé doit représenter près de 16 000 vues dont environ 15 000 issues des Archives nationales et 821 images provenant de la Bibliothèque nationale.



Figure 3 – Une notice d'un plan du projet VERSPERA dans la banque d'image du Centre de recherche du château de Versailles. © VERSPERA/CRCV

Pour préparer sa mise en ligne, le Centre de recherche a affecté une équipe de quatre chercheurs [15] pour retravailler les données qui lui ont été fournies par les Archives nationales et la Bibliothèque nationale de France. Dans un premier temps, il a été effectué une relecture ligne à ligne du tableau de migration pour plusieurs vérifications d'ordre technique (adéquation de l'image à la notice, cohérences, orientation des

12. Archives nationales, accès direct à la SIV, page consultée le 23 juin 2019, https://www.siv.archives-nationales.culture.gouv.fr/siv/.

13. Bibliothèque nationale de France, accès aux fonds Versaillais sur Gallica, page consultée le 23 juin 2019, https://gallica.bnf.fr/.

14. Centre de recherche du château de Versailles, accès à la banque d'image et aux fonds VERSPERA, page consultée le 23 juin 2019, http://www.banqueimages.chateauversailles-recherche.fr/.

15. Delphine Desbourdes, Sandrine Jauneau, Nicole Lallement et Benjamin Ringot ; équipe complétée par la responsable chargée des bases de données, Isabelle Pluvieux.

Published in : PATIN, Stéphane (dir.), *Les enjeux du numérique en sciences sociales et humaines. Vers un* homo numericus ?, Editions des archives contemporaines, Coll. «InterCulturel», ISBN : 9782813003867,
doi : 10.17184/eac.9782813003867

images, chemins des images, *etc.*). Outre ces vérifications, l'apport du Centre réside également dans la transcription de toutes les inscriptions figurant sur chaque plan et la réalisation d'une indexation fine. En parallèle, il a été réalisé des compléments avec une identification plus fine des personnages et des lieux, une datation affinée le tout pour faciliter la future recherche sur la banque d'image (fig. 3) [16].

7 L'apport scientifique

Outre les vérifications techniques et les compléments pour faciliter la recherche, le Centre a procédé à la vérification de la cohérence des informations scientifique contenues dans les notices fournies et, le cas échéant, a effectué des corrections. Il est important de signaler que la plupart du temps, ce travail de vérification scientifique a été permis grâce à la consultation rapide et totale du corpus *via* les images numérisées, chose impossible lorsque l'on doit sortir uns à uns les documents originaux.

Ainsi, par exemple, le corpus VERSPERA compte un plan de la disposition du bout de la Galerie des Glaces lors de la venue de l'ambassadeur perse en 1715 avec, en dessous, grâce à une retombe, la disposition cette fois lors de la venue de l'ambassadeur turc en 1742 [17]. Or, une élévation du décor du dais du trône de Jupiter au bout de Galerie des glaces [18] était désignée comme celle du bout de la Galerie lors de la venue de l'ambassadeur perse en 1715 dans sa notice alors que la comparaison avec plans cités ci-dessus, facilitée grâce à la consultation des deux fichiers numériques immédiatement disponible, montre qu'il s'agit en fait d'un projet de décor pour la venue de l'ambassadeur turc en 1742 !

8 Premières utilisations concrètes du corpus numérisé

La mise en ligne de la première partie des plans conservés aux Archives nationales (AN[1]) en décembre 2017 et de ceux conservés à la BNF en mai 2019 a d'ores-et-déjà permis de faciliter grandement l'activité de recherche et la diffusion scientifique au plus grand nombre.

En effet, plusieurs étudiants de première ou de seconde année de deuxième cycle de l'École du Louvre que le Centre de recherche accueille voire dirige ont pu consulter en ligne l'ensemble des plans dont ils avaient besoin pour mener à bien leur recherche et ce sans avoir à faire une demande de consultation des originaux [19]. Les chercheurs du musée du château de Versailles et de Trianon, conservateurs et collaborateurs scientifiques, ont pu également profiter de cette mise en ligne pour travailler sur des dossiers de muséographie sans avoir à se déplacer ou à faire sortir les originaux. Une exposition « Versailles Architectures rêvées 1660-1815 » présentée au Château de Versailles du 4 mai au 4 août 2019 a pu également, dans sa phase initiale, bénéficier

16. Par exemple, on pourra comparer les informations portées dans la notice n° 1108 du tome I de l'inventaire Gallet-Guerne avec la notice mise en ligne sur la banque d'image après le travail du Centre de recherche, page consultée le 23 juin 2019, http://www.banqueimages.chateauversailles-recherche.fr/?query=search=objectnumber=O/1/1779,\%20dossier\%201,\%20n\%C2\%B06&showtype=record

17. Paris, Archives nationales, O/1/1772, dossier 2, n° 4.

18. Paris, Archives nationales, O/1/1772, dossier 2, n° 7.

19. Par exemple : Claire Boulestin, *Les salles des bains du château de Versailles de Louis XIV à Louis XVI*, mémoire de première année de deuxième cycle, présenté sous la dir. de Raphaël Masson et avec pour référent scientifique Benjamin Ringot, École du Louvre, 2018.

Published in : PATIN, Stéphane (dir.), *Les enjeux du numérique en sciences sociales et humaines. Vers un* homo numericus ?, Editions des archives contemporaines, Coll. «InterCulturel», ISBN : 9782813003867, doi : 10.17184/eac.9782813003867

de l'accès favorisé aux sources pour choisir une première sélection de plans [20]. Enfin, un documentaire intitulé « Versailles, le palais retrouvé du Roi-Soleil », réalisé par Marc Jampolsky et coproduit par Arte France, Gédéon programmes et CNRS Images, a bénéficié de l'apport iconographique et scientifique du projet VERSPERA.

9 ETIS et la modélisation des plans anciens

À partir des numérisations, le laboratoire ETIS [21] a travaillé avec pour objectif de voir s'il était possible de créer des modèles 3D d'espaces représenté sur ces plans et uniquement à partir des plans anciens, de manière à représenter des états disparus ou simplement modifiés étant donné que le château a connu beaucoup d'évolutions sous l'Ancien-Régime.

Dans le domaine du patrimoine, l'utilisation de la 3D n'est pas récente. Dès 2003, le Ministère de la culture *via* le *Programme national de numérisation 3D architectural* intitulé *3D Monuments* [22] a choisi de conserver plusieurs monuments français existants, notamment le Petit Trianon à Versailles, en procédant au relevé de leur « empreinte numérique » *via* scanner laser, photographie et photogrammétrie. D'autres projets ont visé, eux, à reconstituer virtuellement des sites disparus comme le projet « Cluny numérique » qui alliait des techniques de numérisation 3D et réalité virtuelle [23].

Mais pour VERSPERA, le laboratoire ETIS s'est inscrit dans un principe totalement différent. Il n'était pas question de prendre de mesures laser ou de faire des relevés photographiques de l'existant, seuls les informations portées sur les plans numérisés doivent servir de base. Les objectifs de la modélisation 3D à partir de plans anciens sont multiples : pour les historiens et les archivistes, mieux comprendre la distribution, le fonctionnement, les usages du château mais aussi comparer les évolutions architecturales, les vocations successives de la résidence ; pour le grand public, mieux appréhender l'espace du château et découvrir des espaces disparus.

10 De la nécessité d'un développement spécifique

Une des manières de représenter un volume en informatique vise à créer un nuage de points dans l'espace que l'on appelle « sommets » du modèle, généralement repérés par leurs coordonnées (x,y,z). Le rendu est alors dit « géométrique ». Pour passer à une surface, les points voisins sont reliés par des arêtes formant ensuite des facettes, délimitées par une suite fermée d'arêtes consécutives, prenant la plus part du temps la forme de triangles. Aux éléments géométriques du modèle 3D, on peut ajouter, mais ce n'est pas obligatoire, des informations de photométrie, c'est-à-dire de niveaux de gris, de couleur, ou de textures : chaque facette sera donc soit colorée uniformément, soit associée à une image qui l'illustrera.

20. Commissariat de l'exposition par Élisabeth Maisonnier.

21. L'équipe travaillant sur VERSPERA est composée d'un responsable du projet : Michel Jordan, ingénieur de recherche, de Christophe Riedinger (ingénieur) et Hedi Tabia (maître de conférences, ENSEA).

22. Voir à ce sujet le site vitrine du projet, page consultée le 23 juin 2019, http://www.gamsau.map.cnrs.fr/3D-monuments/

23. La première réalisation date de 1990 (voir : Christian Pere, Sébastien Faucher, « Cluny : de la gestion de données à la réalité augmentée », *in* Virtual Retrospect 2007, actes de colloque [Pessac, 14-16 novembre 2007], Bordeaux, Ausonius, 2010, p. 61-67).

Published in : PATIN, Stéphane (dir.), *Les enjeux du numérique en sciences sociales et humaines. Vers un* homo numericus ?, Editions des archives contemporaines, Coll. «InterCulturel», ISBN : 9782813003867,
doi : 10.17184/eac.9782813003867

Dans VERSPERA, la difficulté réside dans le fait que le corpus recèle des plans au sol, des vues en coupes et élévations qui présentent un certain nombre de spécificités rendant leur traitement complexe. Ainsi, par leur nature, les plans dessinés au XVII^{e} ou XVIII^{e} avec des instruments pas forcément aussi précis que ceux d'aujourd'hui, avec des techniques de normalisation qui ne sont pas les mêmes – un escalier, une ouverture ne sont pas représentés de la même manière – présentent des différences d'une feuille à l'autre. La complexité de ces plans anciens réside aussi dans les imperfections dues à la numérisation, malgré tout le soin qui a été pris, avec la présence de filigranes, de traits ou formes en transparence, de plis liés à leur conservation jusqu'ici. Toutes ces spécificités qui ne se retrouvent pas dans les plans actuels ont imposé le développement d'un logiciel dédié [24].

11 Le fonctionnement du logiciel VERPSERA

La première étape de la modélisation est de détecter les murs principaux, c'est-à-dire l'information fondamentale pour édifier un modèle 3D (fig. 4).

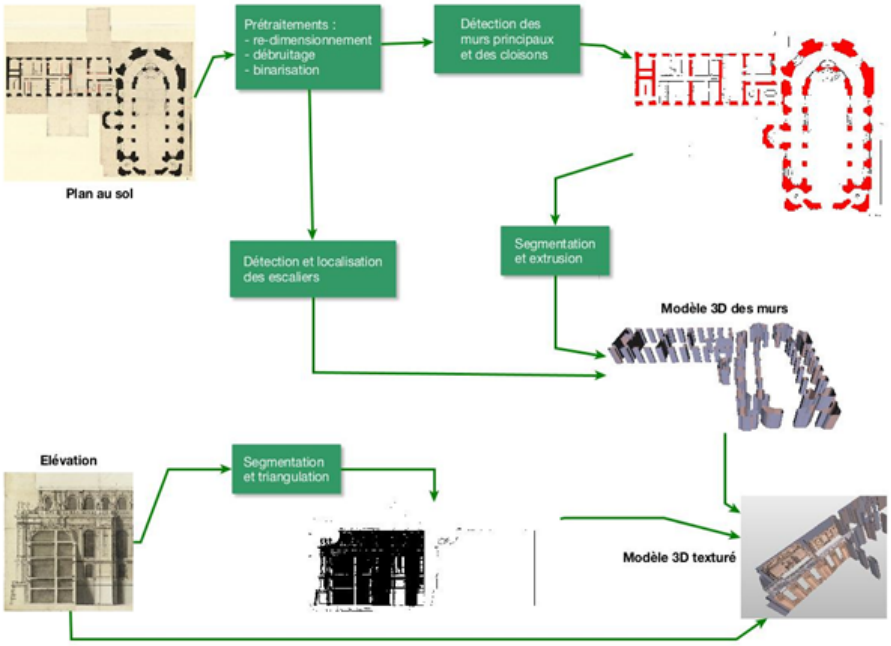


Figure 4 – Schéma du principe de fonctionnement du logiciel VERSPERA puis du traitement interactif *via* Blender. © VERSPERA/ETIS

24. Sur le logiciel VERSPERA voir : Christophe Riedinger, Hedi Tabia, Michel Jordan, « Restitution 3D de monuments historiques à partir de plans anciens », *in* TS. Traitement du Signal, 2015, n° 32 (1), p. 87-108 <hal-01141140> ; Christophe Riedinger, Michel Jordan, Hedi Tabia, « 3D Models over the Centureis : from Old Floor Plans to 3D Representation », conférence internationale IC3D (Belgique, Liège, 9-10 décembre 2014) <hal-01093770>.

Published in : PATIN, Stéphane (dir.), *Les enjeux du numérique en sciences sociales et humaines. Vers un* homo numericus ?, Editions des archives contemporaines, Coll. «InterCulturel», ISBN : 9782813003867, doi : 10.17184/eac.9782813003867

Les images livrées par la Bibliothèque nationale de France ou par les Archives nationales étant très résolues pour les besoins de leur consultation en ligne, leur taille est immense. Or, pour un fonctionnement idéal du logiciel, il n'est pas nécessaire d'utiliser des images HD. Il est donc procédé au préalable à la réduction de la taille des images. Ainsi, dans un pavé de taille n x n, seul le pixel le plus sombre est conservé (ainsi, par exemple, sur un carré de 3 pixels de côté, l'image voit sa taille diminuée par 9). L'étape suivante consiste à passer l'image en niveau de gris car, pour la réalisation du modèle 3D, les couleurs ne sont pas prises en compte dans un premier temps. La suppression de la couleur se fait par binarisation, à savoir que seuls les pixels sombres, les plus informatifs, passent en blanc sur un fond d'image uniformément noir. À ce stade, il reste encore des informations non pertinentes telles que les écritures ou le tampon de l'institution conservatrice.

Est procédé alors, à partir de la version binarisée, au nettoyage de l'image par des outils de morphologie mathématique telle que l'érosion par boule unité itérée. Le principe ici est d'étiqueter les pixels appartenant à une composante connexe (par exemple, un fragment de mur dessiné sur le plan) par leur distance au bord de cette composante connexe. En procédant au seuillage sur cette image des distances, nous pourrons obtenir l'ensemble des structures de l'image ayant des caractéristiques similaires (par exemple, les murs principaux ou, si l'on fait varier le seuil, les murs intérieurs, les balustrades, *etc.*) ; cela permet également d'éliminer les informations résiduelles non pertinentes mentionnées précédemment, qui ont une épaisseur faible.

À partir de l'image ainsi créée, le logiciel procède à la segmentation des contours des murs, ce qui va servir de base au modèle 3D. Pour chaque segment de droite détecté, on élève un rectangle à une hauteur choisie, soit deux triangles rectangles, permettant ainsi de récupérer les facettes, éléments de base du modèle 3D. Après avoir donc détecté les murs, en quelque sorte les empreintes au sol du bâtiment, il est possible de construire le modèle 3D en élevant tous lesdits murs à une hauteur fixée arbitrairement puis d'insérer là où ils ont été détectés, les escaliers.

Ces derniers ont bénéficié dans le logiciel VERSPERA d'un traitement à part comme étant, avec l'empreinte des murs, un élément déterminant du modèle 3D à créer. Le logiciel demande tout d'abord à l'opérateur de tracer un rectangle, assez grossier, autour de la cage d'escalier puis désigner quelle forme correspond le mieux au cas traité parmi les six formes enregistrées [25]. L'algorithme localise alors précisément la « boîte englobante » de l'escalier et trace les composantes annexes, traits ou pointillés, représentant les marches.

Ces opérations terminées, à propos desquelles il faut rappeler que leur durée pour un plan « normal » est assez rapide [26], l'utilisateur dispose d'un modèle 3D efficient. Il lui est alors possible, d'aligner des vues en élévation. Le premier apport du logiciel est alors de délimiter automatiquement et précisément dans les images la zone d'intérêt, qui constituera la « texture » à appliquer à un mur. Cette opération fait appel à

25. Il a été constitué une base de six escaliers types à partir de ceux trouvés dans les plans des fonds de VERSPERA.

26. Les premières phases automatisées prennent une dizaine de minutes et permettent d'avoir un premier modèle 3D ; les parties nécessitant l'intervention d'un opérateur (escalier, ouvertures) prennent quelques minutes ; enfin, l'ajout de textures, peut prendre une demie journée.

Published in : PATIN, Stéphane (dir.), *Les enjeux du numérique en sciences sociales et humaines. Vers un* homo numericus ?, Editions des archives contemporaines, Coll. «InterCulturel», ISBN : 9782813003867,
doi : 10.17184/eac.9782813003867

l'utilisateur de la manière suivante : dans un premier temps, l'utilisateur sélectionne dans le modèle 3D le mur qui sera texturé, puis lui associe l'image correspondante dans le corpus ; ensuite, dans cette image, il choisit un point appartenant au motif et un point appartenant au fond de l'image, et le logiciel détoure le motif dans l'image et l'applique au modèle 3D (fig. 5).

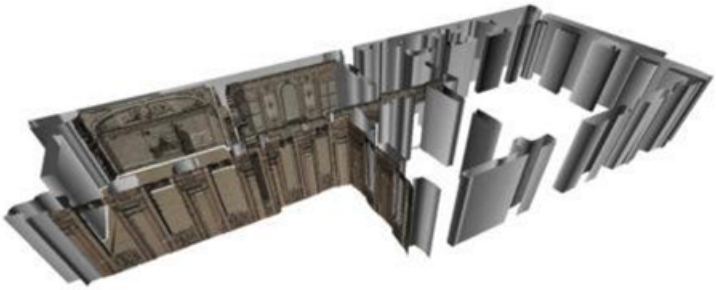


Figure 5 – Modèle 3D de la chambre du roi et du cabinet du Conseil du château de Versailles avec ses élévations. © VERSPERA/ETIS

Cette opération permet également de corriger la hauteur du modèle 3D pour chaque mur, hauteur fixée arbitrairement et uniformément dans l'étape précédente, et calculée dans cette étape en respect des proportions hauteur/largeur du motif.

Enfin, un travail complémentaire a été mené sur les images d'extérieurs, pour compléter et simplifier la représentation des faces verticales du modèle 3D. Le logiciel utilise pour ce faire la triangulation de Delaunay sous contrainte sur l'ensemble des points d'angles de chaque composante connexe. Ainsi, le but ici est de détecter les ouvertures *via* les coins des portes ou des fenêtres présents sur une façade pour générer une représentation en trois dimensions plus réaliste.

12 Du modèle 3D à la reconstitution de lieux disparus : la Petite Galerie dite de Mignard

Depuis 2016 et pour aller plus loin dans la reconstitution d'espace disparus ou modifiés, il est confié à des élèves de la licence professionnelle « Métiers du numérique – Infographie : patrimoine, visualisation et modélisation 3D » (LPMN) de Cergy Université Paris [27], l'habillage d'un espace du château de Versailles à partir du modèle 3D créé par le logiciel VERSPERA. Le premier travail de ce type réalisé durant l'année universitaire 2016-2017 a concerné la Petite Galerie dite de Mignard du château de Versailles, aujourd'hui disparue (fig. 6) [28]

27. Responsable Infographie : patrimoine,visualisation et modélisation : Nicolas Priniotakis.
28. Voir la vidéo issue du projet, page consultée le 23 juin 2019, https://verspera.hypotheses.org/471.

Published in : PATIN, Stéphane (dir.), *Les enjeux du numérique en sciences sociales et humaines. Vers un* homo numericus ?, Editions des archives contemporaines, Coll. «InterCulturel», ISBN : 9782813003867, doi : 10.17184/eac.9782813003867



Figure 6 – La Petite Galerie dite de Mignard sur un modèle 3D du logiciel VERSPERA et un habillage des étudiants de la LPMN de Cergy-Pontoise. © VERSPERA

C'est à la fois une démonstration technique du savoir-faire de ces étudiants qui mettent en œuvre l'ensemble des techniques apprises (modélisation 3D, sculpture 3D, photogrammétrie, etc.) mais aussi un travail permettant de mieux comprendre les volumes et l'allure générale de ces pièces, recréant des décorations qui témoignent d'un Versailles aujourd'hui disparu. Grâce à l'utilisation d'outils informatiques spécifiques permettant de créer des vidéos, il est possible de créer des visites au sein des modèles 3D habillé, outil indéniable de diffusion et de valorisation du projet. C'est aussi l'occasion de faire avancer la connaissance du château en se penchant dans le détail sur des plans et élévations qui sont prises souvent dans leur globalité.

***

Du point de vue général du projet, la perspective première est d'agrandir le corpus utilisé et proposé à la consultation numérique ; des plans du château, du domaine, et de leurs abords dans la période considérée (Ancien Régime) sont en effet recensés dans diverses institutions, telles que l'Institut de France, la Bibliothèque municipale historique de Versailles, les Archives départementales des Yvelines, les collections Tessin-Cronsdedt-Härleman du Musée national de Stockholm, *etc.* Les contacts avec ces institutions sont nécessaires afin d'augmenter le corpus d'images du projet.

Aux Archives nationales, le projet VERSPERA a permis la préservation d'un fonds documentaire précieux et complet, aussi bien par la restauration que par la numérisation des documents. Ces documents sont en cours de mise à disposition des spécialistes et d'un plus large public, par l'intermédiaire des Archives nationales, de la Bibliothèque nationale de France, et de la banque d'images du Centre de recherche du Château de Versailles. VERSPERA a également donné l'occasion aux restaurateurs et photographes des Archives nationales de concevoir ou d'améliorer les dispositifs de conservation et de numérisation de grands documents.

Published in : PATIN, Stéphane (dir.), *Les enjeux du numérique en sciences sociales et humaines. Vers un* homo numericus ?, Editions des archives contemporaines, Coll. «InterCulturel», ISBN : 9782813003867, doi : 10.17184/eac.9782813003867

Le logiciel VERSPERA permet d'ores-et-déjà d'obtenir très rapidement un modèle 3D issu de plans anciens avec une intervention limitée de l'opérateur et la prise en compte d'éléments structurants annexes comme les escaliers ou les ouvertures. La possibilité de plaquer intelligemment sur ce modèle une élévation permet également de recomposer facilement un environnement quasiment complet [29]. Enfin, l'apport du travail des étudiants de la licence professionnelle LPMN a rendu possible la visualisation et le parcours dans des espaces disparus ou modifiés au cours des siècles dans le château de Versailles.

À noter par ailleurs que le logiciel VERSPERA n'est pas exclusif au château de Versailles et permet d'imaginer des perspectives d'utilisations nouvelles pour d'autres monuments documentés dans les fonds d'archive de plans anciens. Nous pouvons également penser à des évolutions du logiciel afin de mieux prendre en compte l'évolution du dessin des plans anciens (en effet, le dessin des plans a évolué entre 1680 et 1770).

Dernière note de conclusion, le projet VERSPERA est, au moins pour ses participants, un exemple de collaboration réussie, fructueuse et amicale, entre historiens, archivistes, conservateurs et informaticiens, où se reconnaissent mutuellement les deux termes d'humanités numériques.

Bibliographie

Boulestin, Claire (2018). *Les salles des bains du château de Versailles de Louis XIV à Louis XVI*, mémoire de première année de deuxième cycle, présenté sous la dir. de Raphaël Masson et avec pour référent scientifique Benjamin Ringot, École du Louvre.

Fossier, François (1996). *Les dessins du fonds Robert de Cotte de la Bibliothèque nationale de France : architecture et décor*, Paris, Bibliothèque nationale de France.

Gallet-Guerne, Danièle en collaboration avec Baulez, Christian (1983, 1989). *Versailles. Dessins d'architecture de la direction générale des Bâtiments du roi*, Paris, Archives nationales, 2 vol.

Jugie, Pierre, Laforest, Éric et Paturange, Marc (2017). « Numérisation et modélisation des plans de Versailles sous l'Ancien Régime (VERSPERA) », in *Support*, Tracé, 2017, No. 17.

Pere, Christian, Faucher, Sébastien (2010). « Cluny : de la gestion de données à la réalité augmentée », in *Virtual Retrospect 2007, actes de colloque* [Pessac, 14-16 novembre 2007], Bordeaux, Ausonius, p. 61-67.

Riedinger, Christophe, Tabia, Hedi, Jordan, Michel (2015). « Restitution 3D de monuments historiques à partir de plans anciens », in *TS. Traitement du Signal*, 2015, n° 32 (1), p. 87-108 <hal-01141140>.

Riedinger, Christophe, Jordan, Michel, Tabia, Hedi (2014). « 3D Models over the Centureis : from Old Floor Plans to 3D Representation », *Conférence internationale IC3D* (Belgique, Liège, 9-10 décembre 2014) <hal-01093770>

Talbot, T Jude (2019). « Le fonds du cabinet d'architecture Robert de Cotte », in *VERSPERA. Numérisation et modélisation des plans de Versailles sous l'Ancien Régime*, 2016, page, consultée le 23 juin 2019, https://verspera.hypotheses.org/133

29. Encore faut-il que l'on dispose à une même période du plan et des élévations correspondantes, ce qui est rarement le cas.

Published in : PATIN, Stéphane (dir.), *Les enjeux du numérique en sciences sociales et humaines. Vers un* homo numericus ?, Editions des archives contemporaines, Coll. «InterCulturel», ISBN: 9782813003867, doi: 10.17184/eac.9782813003867