Orthophotographie cylindrique développement et application au château fort de Blandy-les-Tours

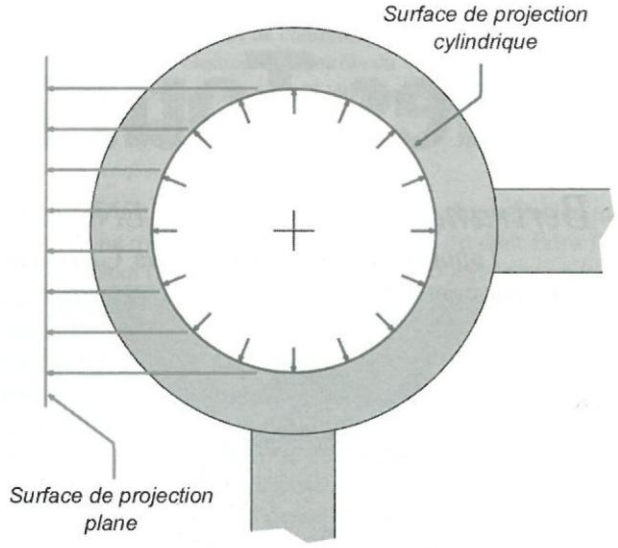
Bertrand Chazaly (ing. ENSAIS)
Topographie et Patrimoine Culturel

LES LIMITES DU REDRESSEMENT PLAN

Géométriquement parlant, une photographie est une perspective conique. Le relief et la perspective de l'objet photographié sont les causes de déformations qui empêchent la superposition de la photo à un plan. Pour permettre cette superposition, on a mis au point des moyens mécaniques (redresseur, orthoprojecteur) puis numériques (logiciels de redressement) pour corriger les déformations, et produire ce qu'on appelle une orthophotographie (ou photocarte, photoplan). Que ce soit une vue aérienne ou l'élévation d'une façade, le principe est toujours de choisir une surface de projection plane (le plan XY ou le plan de la façade) dans laquelle on veut que l'objet soit représenté. Les logiciels de redressement ont tous été développés dans ce sens. Si ce choix est évident, l'exploitation des résultats auxquels il aboutit est limitée dans le cas d'un objet de révolution. C'est le problème qu'ont posé les tours du château de Blandy-les-Tours. Propriété du Conseil Général de Seine-et-Marne, ce château est actuellement l'un des édifices seigneuriaux les mieux préservés d'Ile-de-France. Dans le cadre des opérations de fouille et de restauration, et en prélude à la mise en valeur du monument, la Direction des Archives et du Patrimoine de Seine-et-Marne m'a demandé des documents qui permettent d'analyser globalement la structure et la géométrie de l'élévation intérieure de 3 des 6 tours, ce qu'une orthophoto classique ne pouvait pas fournir. J'ai utilisé la méthode de redressement cylindrique, méthode inédite que j'ai mis au point en janvier 2000 pour l'étude de la tour augustéenne du site de Laudun, et que j'ai appliquée pour la première fois sur un monument de cette importance.

1. PRINCIPE

L'idée est d'utiliser une surface de projection qui ne soit pas plane mais cylindrique, surface axée sur la tour et qui est ensuite 'déroulée' sur un plan. Le problème est bien sûr qu'il n'existe pas aujourd'hui de logiciels permettant ce type de traitement. C'est une approche inédite, qui a nécessité la recherche puis la mise en œuvre d'une nouvelle méthode, et la programmation de nouvelles procédures de redressement.



1.1. Détermination d'un cylindre de projection

Le redressement des prises de vues réalisées sur une tour implique la détermination d'un cylindre de projection, dont l'enveloppe soit la plus proche de la surface réelle de la tour. Pour cela, il est nécessaire de mesurer puis d'analyser la géométrie réelle de cette surface.

Outre les données nécessaires à la construction de l'orthophoto, cette analyse nous apporte des informations utiles sur la géométrie du monument.

a. Mesure d'un MNS

La connaissance précise de l'enveloppe réelle de la tour passe par la mesure d'un modèle numérique de surface (MNS). C'est la mesure d'un nuage de points tridimensionnel, assez dense pour rendre compte de la géométrie de cette tour et des déformations locales de sa surface.

Cette mesure est réalisée de façon précise et rapide grâce à l'utilisation d'une station totale (théodolite électronique avec distancemètre incorporé) permettant un pointé laser sans réflecteur.

b. Calcul du cylindre par compensation (détermination de l'axe et du rayon)

Ce cylindre parfait est défini par un axe vertical passant par un point C de coordonnées (Xc, Yc) et par un rayon R. Déterminer ce cylindre pour n points mesurés (Mi)i=1 à n, c'est rechercher les valeurs de (Xc, Yc, R) telles que les écarts entre les distances horizontales CMi et le rayon R soient globalement les plus petits possible.

Les valeurs (Xc, Yc, R) sont calculées par approximations successives, en appliquant la méthode des moindres carrés.

d. Analyse de la surface de la tour

Le cylindre de projection connu, il est maintenant possible de calculer l'écart entre sa surface et l'enveloppe réelle de la tour (chaque point mesuré). Ce diagnostic permet de repérer les mesures fausses, d'affiner le calcul de ce cylindre théorique et d'en valider l'utilisation comme surface de projection. Il permet aussi de fournir une cartographie représentative de l'état de la surface étudiée. Il est en effet possible d'interpoler et d'utiliser un modèle numé-

rique de ces écarts afin de visualiser les déformations géométriques dues aux irrégularités de la surface réelle (bosses, déformations autour des fissures...).

1.2. Pour chaque cliché : calcul des paramètres de prise de vues

La mise en correspondance des coordonnées terrain et des coordonnées photo de points d'appui, permet le calcul par compensation des paramètres de prise de vues (position de l'appareil, focal, angles de prise de vues).

- Mesure de points d'appui sur la tour (ciblettes).
- Prises de vues et numérisation des clichés.
- Mesure des coordonnées pixel des ciblettes.
- Calcul des paramètres par la méthode des faisceaux (procédure mise au point sous StarOffice).

1.3. Pour chaque cliché : redressement

La connaissance des paramètres permet de calculer les coordonnées photo de tout point à partir de ses coordonnées terrain. On assimile la surface réelle de la tour à celle du cylindre de projection. Au départ, l'orthophotographie est vide. Pour chaque pixel de l'orthophotographie, le redressement consiste alors à :

Transformer les coordonnées du pixel vide (passage des coordonnées cylindriques aux coordonnées rectangulaires, grâce à la connaissance du cylindre de projection).

Appliquer la transformation mathématique aux coordonnées rectangulaires : on obtient les coordonnées pixel du point dans la photo brute (grâce à la connaissance des paramètres de prise de vues).

Mesurer la couleur du pixel brut (valeur Rouge, Vert, Bleu) et l'appliquer au pixel vide.

Pixel par pixel, on construit ainsi l'orthophoto cylindrique correspondant à la portion de la tour couverte par le cliché.

Le cas échéant, une procédure supplémentaire permet d'aller chercher dans le MNS l'écart à la surface de projection, afin de corriger les coordonnées terrain de chaque pixel vide avant transformation mathématique. Ceci permet de prendre en compte le MNS lors du redressement.

1.4. Assemblage des orthophotos

L'assemblage de tous les clichés redressés aboutit à la couverture complète de la surface de la tour. Pour l'habillage cartographique, il est possible de placer un quadrillage dont l'abscisse correspond à un angle (gisement depuis l'axe de la tour), et l'ordonnée à l'altitude.

2. AVANTAGES

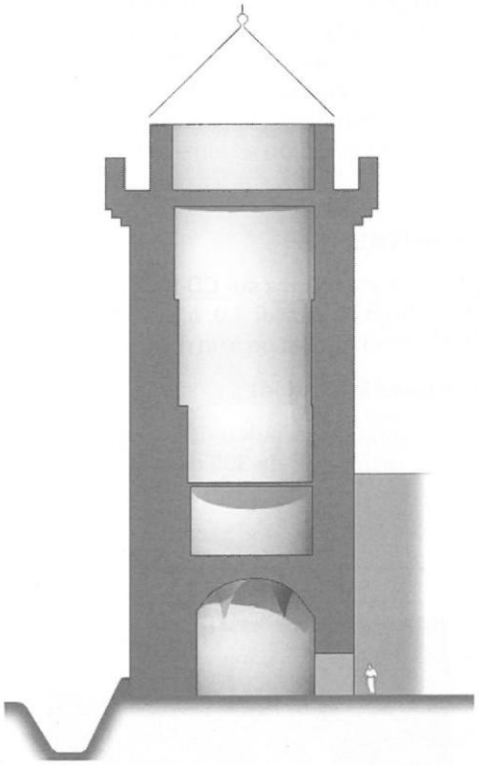
Cette méthode permet de fournir un photoplan qui colle franchement à la surface de ce type d'objet, fournissant un rendu pierre à pierre régulier. Un seul document permet d'étudier l'empierrement ou la disposition des différents éléments architecturaux sur l'ensemble du monument. Il est alors possible d'en déduire une méthode de construction de la tour. L'orthophoto cylindrique est dans ce cas un véritable document d'étude.

Le passage des coordonnées cylindriques aux coordonnées rectangulaires est une simple transformation géométrique. A partir de l'orthophoto cylindrique, il est possible de choisir une direction de projection et de générer automatiquement une orthophoto plane.

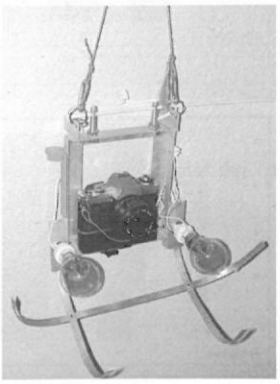
L'orthophoto peut servir de texture à la modélisation 3D de la tour. Elle peut contribuer à la production d'un rendu hyperréaliste de l'objet.

3. UN EXEMPLE : LE DONJON

Le donjon est la plus haute des 3 tours qu'on m'a demandé de topographier. Ses 35 mètres sont divisés en 6 niveaux desservis par un escalier à vis. Seuls les planchers des premier, deuxième et dernier niveaux sont présents, ce qui a particulièrement compliqué la phase d'acquisition des données.



3.1. Conditions de prise de vues



Le redressement des clichés utilise un modèle numérique du relief de la surface à cartographier. Ce modèle rend compte des variations globales de ce relief mais n'est pas assez précis pour restituer le relief de chaque pierre. C'est pourquoi il est préférable d'assurer une

prise de vues en vis-à-vis, pour s'affranchir des déformations dues à ce micro-relief.

Les 2 niveaux dont les planchers sont absents sont physiquement inaccessibles. Ce problème s'est posé pour les trois tours. Selon le cas, il a fallu mettre en place des moyens d'accès provisoires, économiques et respectant le monument : équipement d'escalade, appareil photo hissé le long d'un câble, ou placé au sommet d'une perche de 6 m et équipé d'un dispositif de déclenchement à distance par fil.

3.2. Exploitation des cylindres de projection

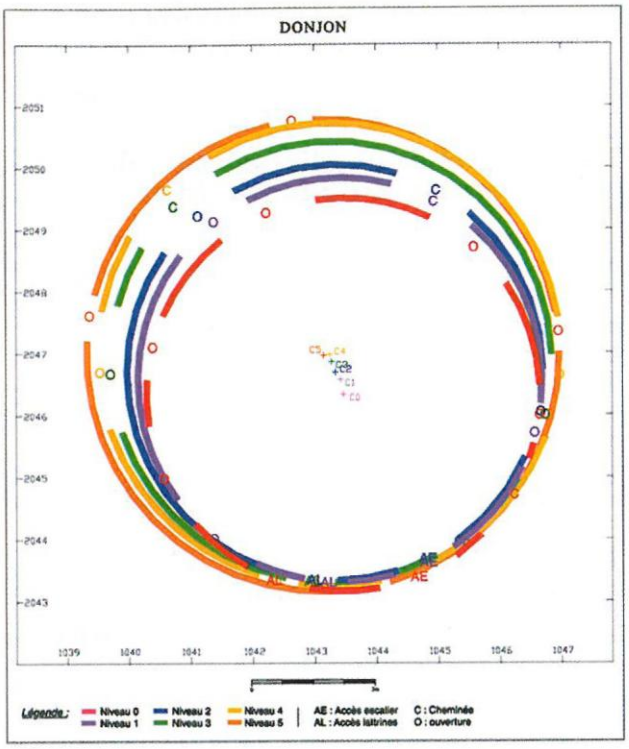
Des ciblettes, disposées aux ouvertures et visées depuis l'intérieur et l'extérieur, ont permis de recaler chaque niveau dans un système de coordonnées commun à l'ensemble de chaque tour. Pour la Tour des Gardes et surtout pour le Donjon, cette opération a permis de révéler que ces niveaux n'étaient pas concentriques. Les cylindres sont plutôt tangents vers l'intérieur du château. L'enveloppe extérieure semble en revanche suivre un seul cylindre (cela reste à vérifier). Pour les premiers niveaux, les murs des deux tours seraient donc plus épais dans le secteur orienté vers l'extérieur de l'enceinte, et d'une épaisseur identique vers l'intérieur. Ceci tend à montrer la vocation défensive de ces deux tours.

3.3. Résultats

Les résultats ont été fournis sur CD-Rom, sous la forme de fichiers au format Illustrator 7.0, à raison d'un fichier par niveau correspondant chacun à un document au format A2.

Chaque document contient :

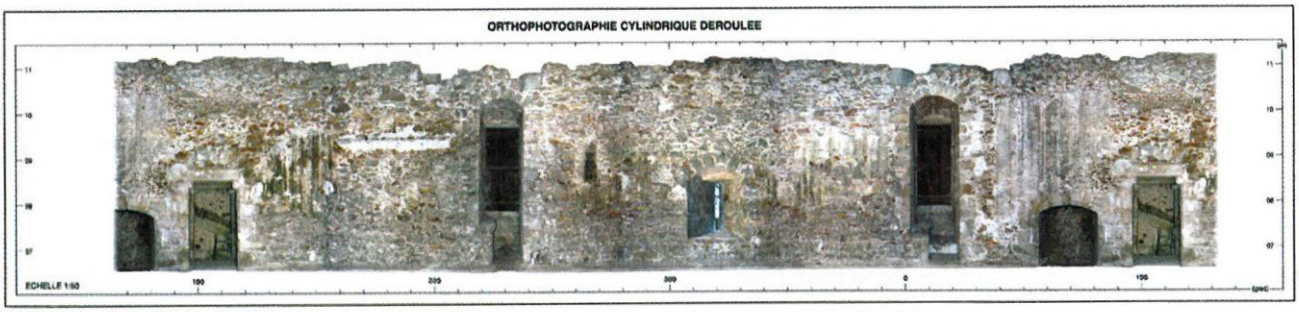
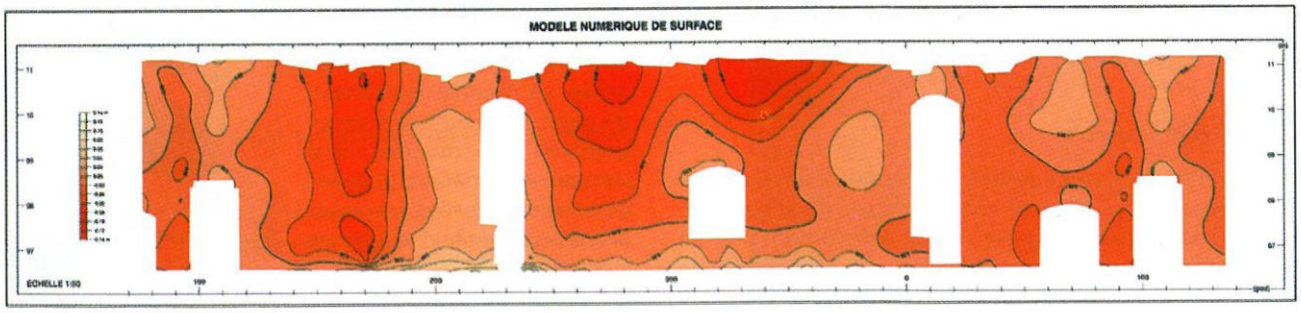
l'orthophotographie déroulée du niveau, à l'échelle du 1/50ème, à la résolution de 300 dpi.



Les courbes de niveau tramées correspondant au modèle de surface du niveau.

Des informations statistiques sur le nuage de points levés.

Une vue de dessus des niveaux.

Toutes ces informations ont été classées dans des calques qui peuvent être affichés et superposés les uns aux autres. Selon les dimensions des niveaux, la taille des fichiers varie de 31 Mo à plus de 63 Mo. ●

Plus d'information : http://www.topo-patrimoine.com
chazaly@wanadoo.fr