

Étude numérique des formes du troisième étage d'Angkor Vat : recherche de l'unité de mesure

Sébastien Saur

Saur Sébastien, . Étude numérique des formes du troisième étage d'Angkor Vat : recherche de l'unité de mesure. In: Bulletin de l'École française d'Extrême-Orient. Tome 82, 1995. pp. 301-305.

[Voir l'article en ligne](#)

Avertissement

L'éditeur du site « PERSEE » – le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation – détient la propriété intellectuelle et les droits d'exploitation. A ce titre il est titulaire des droits d'auteur et du droit sui generis du producteur de bases de données sur ce site conformément à la loi n°98-536 du 1er juillet 1998 relative aux bases de données.

Les oeuvres reproduites sur le site « PERSEE » sont protégées par les dispositions générales du Code de la propriété intellectuelle.

Droits et devoirs des utilisateurs

Pour un usage strictement privé, la simple reproduction du contenu de ce site est libre.

Pour un usage scientifique ou pédagogique, à des fins de recherches, d'enseignement ou de communication excluant toute exploitation commerciale, la reproduction et la communication au public du contenu de ce site sont autorisées, sous réserve que celles-ci servent d'illustration, ne soient pas substantielles et ne soient pas expressément limitées (plans ou photographies). La mention Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation sur chaque reproduction tirée du site est obligatoire ainsi que le nom de la revue et- lorsqu'ils sont indiqués - le nom de l'auteur et la référence du document reproduit.

Toute autre reproduction ou communication au public, intégrale ou substantielle du contenu de ce site, par quelque procédé que ce soit, de l'éditeur original de l'oeuvre, de l'auteur et de ses ayants droit.

La reproduction et l'exploitation des photographies et des plans, y compris à des fins commerciales, doivent être autorisés par l'éditeur du site, Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation (voir <http://www.sup.adc.education.fr/bib/>). La source et les crédits devront toujours être mentionnés.

Étude numérique des formes du troisième étage d'Angkor Vat

Recherche de l'unité de mesure

Sébastien SAUR

La méthode photogrammétrique

La photogrammétrie est une technique visant à constituer en trois dimensions des objets vus selon deux faisceaux perspectifs différents. En particulier, deux images photographiques d'un même objet, prises de deux points de vue différents, permettent de restituer l'objet en question. En général, une telle technique est employée pour une restitution graphique (dans le domaine cartographique comme en architecture). Pour réaliser cette étude numérique, ce sont des coordonnées de points qui ont été déterminées à partir de mesures sur les photographies.

Dans le cas de la présente étude, cinquante-deux photographies du troisième étage d'Angkor Vat ont permis de prendre toutes les mesures voulues sur le temple. Les coordonnées des points choisis sont connues avec une précision de l'ordre de quelques centimètres.

Étude des dissymétries du troisième étage

Le plan du temple d'Angkor Vat n'est pas symétrique. Outre les décalages progressifs des enceintes vers l'est, il apparaît, par exemple, que la deuxième enceinte est légèrement déplacée vers le nord par rapport à la troisième. Cette étude a pour objet de rechercher si le troisième étage possède ou non de telles dissymétries. On ne tient pas compte de l'escalier principal ouest, visiblement plus important que les autres, pour ne s'intéresser qu'au troisième étage proprement dit.

L'implantation du troisième étage

Le troisième étage d'Angkor Vat possède *a priori* deux axes de symétrie nord-sud et est-ouest, et quatre autres axes le long des galeries. Les points d'intersection de ces axes correspondent donc aux centres des différents bâtiments du troisième étage, tours d'angle, pavillons et sanctuaire central.

Les différentes dimensions obtenues entre les points d'intersection sont très homogènes : elles se situent toutes entre 23,82 et 23,93 mètres, différence qui, si l'on

tient compte des imprécisions dues à la construction, aux déformations éventuelles, et à la qualité des mesures, est négligeable.

Les angles formés par ces axes peuvent être considérés ici comme égaux. Ils sont tous différents de l'angle droit d'environ 0,6 grade, ce qui rend le temple légèrement losange. À ce point, il est important de connaître la méthode employée par les bâtisseurs khmers pour déterminer au sol le schéma d'implantation : l'axe nord-sud est tracé en premier, l'axe est-ouest est obtenu en prenant les deux points d'intersection de deux arcs de cercle centrés sur l'axe nord-sud. Une erreur de circularité de un pour cent sur l'un des cercles (erreur minime compte tenu des méthodes de tracé) entraîne une erreur d'environ 0,3 grade sur l'angle droit obtenu, soit quasiment de l'ordre de grandeur des écarts observés. De plus, les autres angles droits sont obtenus par report de distances égales parallèlement aux axes existants, ce qui est une nouvelle source d'erreur.

Il est donc clair que les écarts constatés au niveau des angles sont purement accidentels, et que par conséquent, les maîtres d'œuvre ont souhaité que le troisième étage soit parfaitement carré.

Les symétries du troisième étage¹

La recherche de dissymétrie du plan du troisième étage est en fait le calcul des écarts entre un temple théorique parfaitement symétrique, obtenu à partir de points du temple réel et le temple réel lui-même, tel que l'on peut le mesurer.

Si l'écart le plus important atteint presque 15 centimètres en un point, la moyenne quadratique des écarts n'est que de l'ordre de 5 centimètres, soit du même ordre de grandeur que la précision des mesures. Si l'on regroupe les points par élément (par élément, on désigne ici chacun des bâtiments du troisième étage, tour d'angle ou pavillon central), on peut observer un éventuel décalage d'un élément par rapport à l'ensemble du temple. Ici encore, les décalages moyens par élément sont faibles, de l'ordre de 3 à 4 centimètres en général, et de plus les décalages des différents points d'un même élément sont très dispersés autour de la moyenne. Par exemple, pour la tour sud-est, le décalage moyen est le plus important (environ 8 centimètres), mais l'écart-type vaut plus de 5 centimètres.

Ceci signifie donc que les éventuelles dissymétries observées au niveau du troisième étage d'Angkor Vat sont très certainement accidentelles et dues sans aucun doute aux imprécisions de construction et d'éventuelles déformations ultérieures du temple.

Le centre du temple

Le centre du sanctuaire central est le point important du temple, tant sur le plan religieux que pratique. En effet, c'est par ce point que débute le tracé des axes d'implantation, c'est donc autour de lui que le temple est structuré.

Le sanctuaire central étant invisible sur les photographies utilisées pour cette étude, son centre peut être calculé de diverses façons :

1. c'est le point d'intersection des axes de symétries,
2. c'est le point d'intersection des diagonales,
3. c'est le milieu de chacun des deux segments médians,
4. c'est le milieu de chacun des deux segments diagonaux.

1. La méthode utilisée ici s'inspire largement de celle décrite par M. Jacques Ducamp, dans son « Étude numérique des formes de Borobudur », in Jacques Dumarçay, *Histoire architecturale du Borobudur*, EFEO, Paris 1977.

Or, le calcul montre que ces six points, théoriquement confondus, sont réellement très proches les uns des autres, à moins de 5 centimètres. Un soin particulier a donc très certainement été apporté par les maîtres d'œuvre à l'implantation de ce point. Ceci est d'autant plus vrai que les axes étaient matérialisés par des repères hors du champ des constructions (de telles pierres gravées ont été retrouvées à Ta Kev), et que ces pierres étaient sans doute reportées au fur et à mesure que la construction s'étendait. Ces reports ont donc été d'une grande précision pour aboutir finalement à une telle qualité d'implantation du centre.

Globalement, il apparaît donc que le troisième étage d'Angkor Vat a été voulu strictement carré et symétrique par les maîtres d'œuvre. Ceci donne donc quatre axes de symétrie, deux axes principaux nord-sud et est-ouest, et deux axes diagonaux.

La présence de quatre axes de symétrie est suffisamment peu fréquente dans les autres temples khmers (l'ensemble d'Angkor Vat lui-même n'a qu'un seul véritable axe de symétrie) pour être remarquée ici.

Une autre remarque concerne l'implantation des axes. On l'a vu, le troisième étage est légèrement losange, puisque les angles sont tous voisins de 99,50 grades. Selon le schéma d'implantation réalisé par M. Guy Nafilyan² et qui couvre l'ensemble du temple, des écarts se retrouvent également au niveau des deuxième et troisième enceintes.

On peut donc très certainement en conclure que c'est le tracé du premier angle droit qui a été le plus imprécis, causant une erreur voisine de 0,50 grade sur l'ensemble du temple, les autres tracés par reports de distances parallèlement aux axes ne pouvant pas corriger l'erreur initiale.

Recherche de l'unité de mesure

*Le principe utilisé et ses limites*³

Le principe utilisé pour tenter de trouver l'unité de mesure employée par les bâtisseurs khmers (que nous appellerons *coudée* par la suite) est fort simple : les dimensions importantes du monument doivent certainement correspondre à un nombre entier de coudées. En multipliant le nombre de dimensions pour le calcul, cette recherche se ramène donc à une recherche de diviseurs communs.

Cependant, cette méthode possède des limites assez rapidement atteintes.

Tout d'abord, plus la valeur de l'unité de mesure est petite, plus elle a de chance de convenir. Pour la présente étude, une limite inférieure a été fixée à 20 centimètres, qui est arbitraire, mais qui sera justifiée *a posteriori* par les résultats obtenus.

D'autre part, la valeur de ces dimensions a son importance. Une grande dimension acceptera plus de valeurs possibles pour la coudée. Inversement, de petites valeurs permettront de n'en garder que quelques-unes.

Troisièmement, les dimensions mesurées sur le monument n'ont qu'un rapport lointain avec celles voulues par le maître d'œuvre, du fait des erreurs dues à la construction ou aux déformations ultérieures du temple. Le calcul n'utilise donc aucune dimension relevée sur les soubassements du troisième étage, qui ont visiblement

2. Guy Nafilyan, *Angkor Vat, étude graphique du temple*, EFEO, Paris 1969.

3. Cette recherche s'est largement inspirée d'un calcul similaire mené sur les temples de Java par M. Pascal Lordereau (cf. Jacques Dumarçay, *Candi Sewu et l'architecte bouddhique du centre de Java*, EFEO, Paris 1981).

beaucoup bougé depuis la construction. En revanche, les bâtiments du troisième étage semblent en meilleur état de conservation.

De plus, le nombre de dimensions doit être important pour que seul un petit nombre de valeurs soit retenu à la fin du calcul.

Calcul et résultats

Sept dimensions du temple ont été utilisées pour le calcul de la coudée. Il s'agit pour cinq d'entre elles, de dimensions importantes du temple (largeur de tours, grande largeur et largeur au niveau des décrochements des pavillons, dimensions du schéma d'implantation, grande largeur des bâtiments du troisième étage). Les deux dernières sont les dimensions des fenêtres (hauteur et largeur).

Pour chaque valeur de coudée retenue, on peut alors calculer le reste pour chacune des dimensions, c'est-à-dire la différence entre la dimension mesurée et celle donnée par un nombre entier de coudées. Le reste moyen quadratique permet d'estimer la validité d'une valeur de la coudée. Cependant, l'estimation de ce reste moyen quadratique est assez imprécise, il sera donc difficile de trancher entre deux valeurs donnant des restes moyens voisins.

Parmi la douzaine de valeurs retenues à l'issue du calcul, l'une d'elles semble se détacher assez nettement. Il s'agit d'une coudée de 28,753 centimètres, qui, avec un reste moyen quadratique de 2,3 centimètres, devance les autres valeurs (la suivante a un reste moyen quadratique de 4 centimètres). Si l'on tolère, pour les dimensions des fenêtres, des cotes à la demi-coudée près, les résultats ne s'améliorent pas. Il semble donc qu'il faille retenir la valeur de 28,753 centimètres.

Cependant, il est impossible d'affirmer formellement que cette coudée est celle employée par les Khmers. Il faudrait en effet multiplier les dimensions, en prendre d'autres sur d'autres parties du temple (les dimensions utilisées étaient toutes, rappelons-le, prises sur le troisième étage), et pourquoi pas sur d'autres temples contemporains et voisins géographiquement d'Angkor Vat.

Unité de mesure ou module ?

En général, ce sont deux longueurs de référence, et non une seule, qui sont utilisées lors de la construction, l'unité de mesure et le module. Les différences entre ces deux « unités » sont les suivantes :

1. l'unité de mesure reste stable dans le temps, parfois plusieurs siècles, et est donc commune à différents monuments, tandis que le module est spécifique à chaque monument ;
2. l'unité de mesure est employée pour les grandes dimensions du temple, alors que le module concerne plutôt les éléments architecturaux ;
3. enfin, l'unité de mesure a pour origine en général une partie du corps humain, alors que le module est issu de la dimension d'un élément du temple.

On l'a vu, cinq des sept longueurs utilisées dans le calcul précédent correspondent à des dimensions principales du temple (toutes sauf les dimensions des fenêtres). Si l'on recommence le calcul avec ces cinq valeurs uniquement, on obtient la même longueur d'unité, 28,753 cm. Ceci tendrait à prouver que la valeur proposée correspond bien à une unité de mesure. D'autres mesures permettraient d'une part de confirmer cette valeur de l'unité, et d'autre part de proposer une valeur de module.

Il est possible cependant de fournir une première valeur de module, en utilisant les dimensions des fenêtres. En effet, la hauteur et la largeur des fenêtres correspondent à des nombres entiers de modules, ainsi que leur différence. En prenant les moyennes des

dimensions observées, on aboutit à une différence de 25 centimètres, ce qui semble une valeur de module réaliste. Bien entendu, ceci demande à être confirmé par d'autres mesures sur les éléments de décor (colonnes, moulures, chapiteaux...).

La première conclusion à tirer de cette étude concerne la méthode employée. Les techniques photogrammétriques possèdent l'avantage — par rapport aux méthodes topométriques classiques — de permettre, une fois les clichés réalisés sur le terrain, de relever un nombre quasiment illimité de dimensions, et surtout de reprendre si nécessaire de nouvelles mesures sans avoir à retourner sur le site. La photogrammétrie s'est donc avérée être adaptée à l'analyse architecturale.

La seconde conclusion concerne plus particulièrement Angkor Vat. À l'issue de l'étude numérique du troisième étage du temple, il apparaît que les dissymétries constatées au niveau de la deuxième et troisième enceintes n'ont pas de répercussions sur le troisième étage. Celui-ci est donc un carré presque parfait, avec quatre axes de symétrie.