

BALUSTRADE DU PREAH KHAN

Musée National des Arts Asiatiques-Guimet



ÉTUDE PRÉLIMINAIRE POUR LE REMONTAGE DANS LE HALL DU MUSÉE

MONTAGE PARTIEL EN RÉSERVE
SIMULATIONS PHOTOGRAPHIQUES
ÉTUDE DE STATIQUE

ATELIER COIGNARD
novembre 1999

Introduction

L'extrémité de la balustrade Sud de l'allée Est du Preah Khan d'Angkor, conservée au musée Guimet est composée de 31 blocs de grés rapportés par Louis Delaporte en 1873. Depuis sa présentation, spectaculaire mais relativement inexacte, au Palais du Trocadéro lors l'exposition universelle de 1878, l'ensemble n'a plus été réuni. La figure du serpent à sept têtes, la quintuple tête et le buste de géant ont en effet été présentés séparément après leur transfert au musée Guimet. Démonté avec le reste de la collection en 95, la figure du serpent à sept tête et la tête du géant ont fait partie de l'exposition "Angkor, dix siècles d'Art Khmer". Les montages et démontages successifs nous ont donné l'occasion de prendre connaissance des particularités de ses deux parties.

De la présentation au Palais du Trocadéro ne subsiste que des documents photographiques sommaires qui révèlent, par l'absence de joints visibles entre les blocs, que le montage était, à la manière de l'époque, réalisé en maçonnerie, un badigeon marron uniformisant l'ensemble. Nous avons éliminé récemment les restes de mortier de plâtre ou de ciment (chargés de briques et de fragments de pierre dans les volumes lacunaires) au cours de la campagne de restauration 98. Le projet de remontage de l'ensemble des blocs de la balustrade dans le hall du nouveau musée Guimet nécessitait, faute de références au montage antérieur et compte tenu des exigences actuelles en matière de conservation et de muséographie, une étude approfondie. Le public d'aujourd'hui, acquis à la valeur esthétique de cet Art et soucieux d'authenticité, n'attend plus qu'on lui facilite la lecture d'une œuvre altérée par l'interprétation des lacunes ou la dissimulation des joints. La déontologie de la restauration met aujourd'hui l'accent sur le respect de l'intégrité des œuvres parvenues jusqu'à nous et en conséquence sur la réversibilité des interventions autant que faire se peut. Nous sommes donc amenés de préférence à concevoir la nouvelle présentation de la balustrade par un remontage à sec (simple empilement de blocs à l'origine distinct) qui évite si possible le percement des pierres.

Les documents photographiques des autres balustrades de la "chaussée des Géants" montrent que la figure à sept têtes se dresse dans un audacieux porte-à-faux à peine compensé par le contrepoids de la quintuple tête. L'équilibre était assuré à l'origine par un système d'agrafes métalliques, comme en témoignent les trous en vis-à-vis de bloc à bloc, principe qui a été réutilisé par les architectes pour le remontage des autres balustrades à Siemreap. Mais ces trous d'agrafes sont peu profonds et, en maints endroits, des éclats de pierre, sans doute consécutifs au décalage des blocs par la puissante végétation, empêchent leur réemploi sans augmenter le percement. En outre, les deux rangées de blocs qui forment l'assise commune de la figure à sept têtes et de la quintuple tête, ont été évidées pour une raison incertaine. Ont-ils été allégés pour faciliter leur transport ? dans ce cas il faudrait expliquer pourquoi aucun autre bloc de l'ensemble n'a été évidé ainsi. Doit-on au contraire en conclure que la position stratégique de ces blocs - lieu de l'inquiétant porte-à-faux - explique leur évidement ? Celui-ci résulterait alors de l'intervention de nos prédécesseurs pour le remontage de l'œuvre lors de l'exposition universelle. Les blocs de ces deux rangs, réduits en volume à leur façade sculptée, auraient permis la création d'un noyau technique solide (béton et/ou acier) assurant la stabilité de l'édifice supérieur.



Montage des groupes 1 et 2 dans la réserve Bastille.

A propos de la méthode

Cette hypothèse suppose la crainte des installateurs de l'époque pour la sécurité de l'œuvre et du public, crainte que nous partageons à priori faute de pouvoir appréhender intuitivement s'il existe ou non un risque de déséquilibre. C'est ce qui nous a conduit tout d'abord à préconiser d'effectuer un remontage virtuel pour étudier rigoureusement la statique de l'œuvre. La technique, que nous avons expérimenté à plusieurs reprises, consiste à numériser la géométrie de chaque bloc et à simuler informatiquement leur assemblage afin de calculer le volume et la projection verticale du centre de gravité de chaque bloc et groupe de blocs. A défaut de pouvoir engager cette procédure, seule à même de produire des résultats de réelle pertinence, nous nous sommes efforcés d'en approcher la logique par des mesures relevées et/ou reportées sur des prises de vues photographiques. Mise au point pour l'occasion, la méthode se devait d'être décrite en détail afin de pouvoir être évaluée et éventuellement critiquée. Conscients des distorsions importantes dues au parallaxe, nous avons été nous-même surpris par le degré de convergence des résultats obtenus sur les quatre points de vue (marge d'erreur de 3 cm ; § vue en plan n° 1). Si la description semble quelque peu longue et fastidieuse, les résultats tiennent en quelques lignes (voir le paragraphe de conclusion) qui permettent la formulation d'un principe technique pour le remontage de la figure du serpent à sept tête et de la quintuple tête.

Remontage partiel

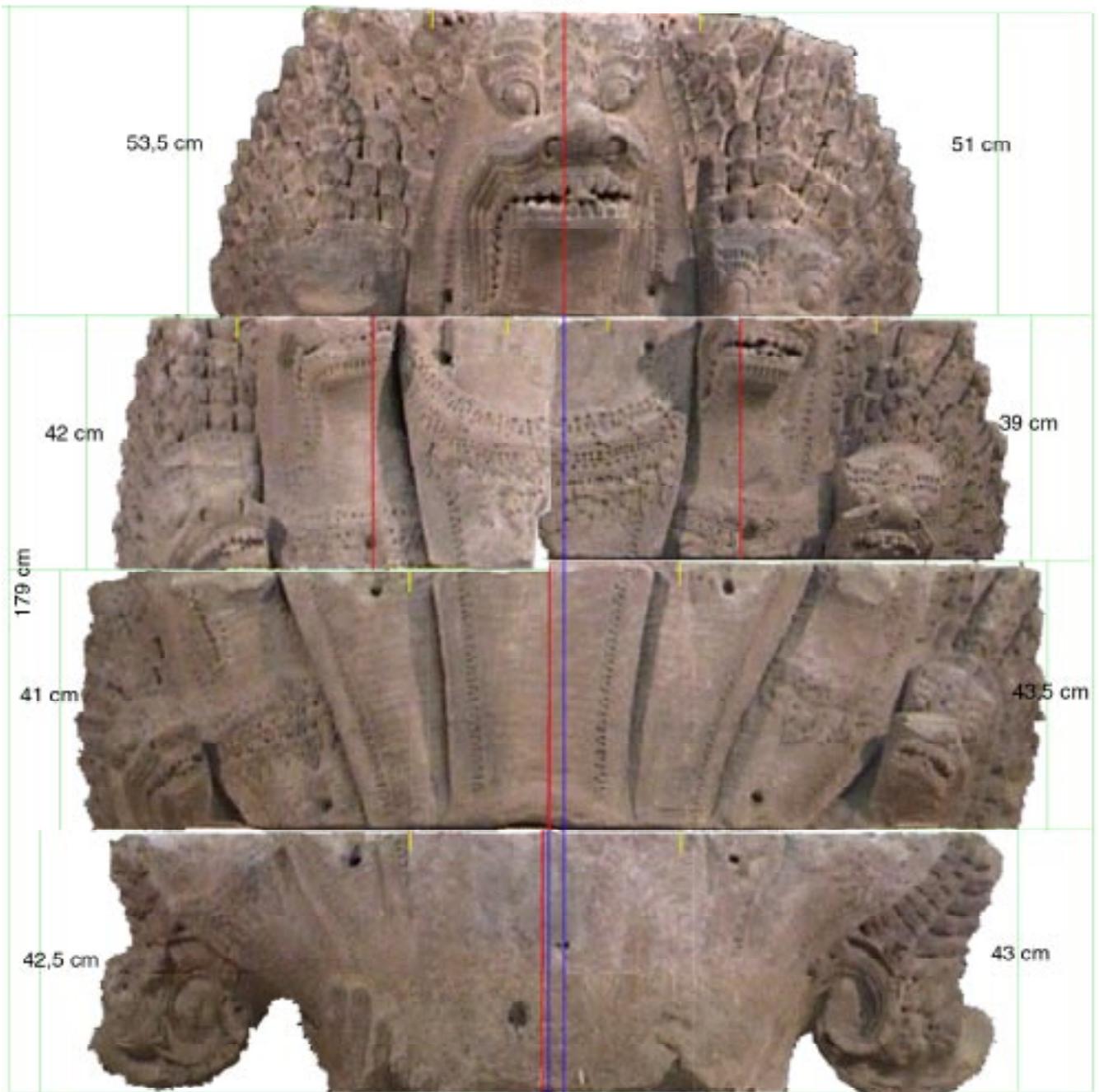
La précision relative de cette méthode alternative, nous recommandait d'en limiter l'usage à la stricte nécessité. Aussi fallait-il tirer le meilleur parti de l'assemblage réel de groupes de blocs dans les limites de la sécurité. La base, composée du corps du serpent et du torse du géant a tout d'abord été assemblée dans les réserves de l'Opéra Bastille en décembre 98 jusqu'au premier rang de blocs évidés. Le second groupe de blocs remonté au sol comprenait le second rang de blocs évidés, la quintuple tête et le "cou" du serpent. Le montage du troisième groupe - la figure du Naga - ayant été expérimenté à quatre reprises lors de l'exposition, il nous a semblé inutile de le réitérer dans les réserves, compte-tenu du poids des blocs. Ses caractéristiques facilitaient en outre un montage photographique précis (§ planche de la figure du serpent à sept têtes). Cependant le premier bloc du groupe 3, parce qu'il présentait une surface plane importante et pour faciliter la coïncidence des axes entre le groupe 2 et 3, a été installé sur le groupe 2.

BALUSTRADE DU PREAH KHAN

Montage par assemblage
de photographies numériques
de la figure du serpent à sept têtes

Benoît Coignard

1/10^e





Prises de mesure.

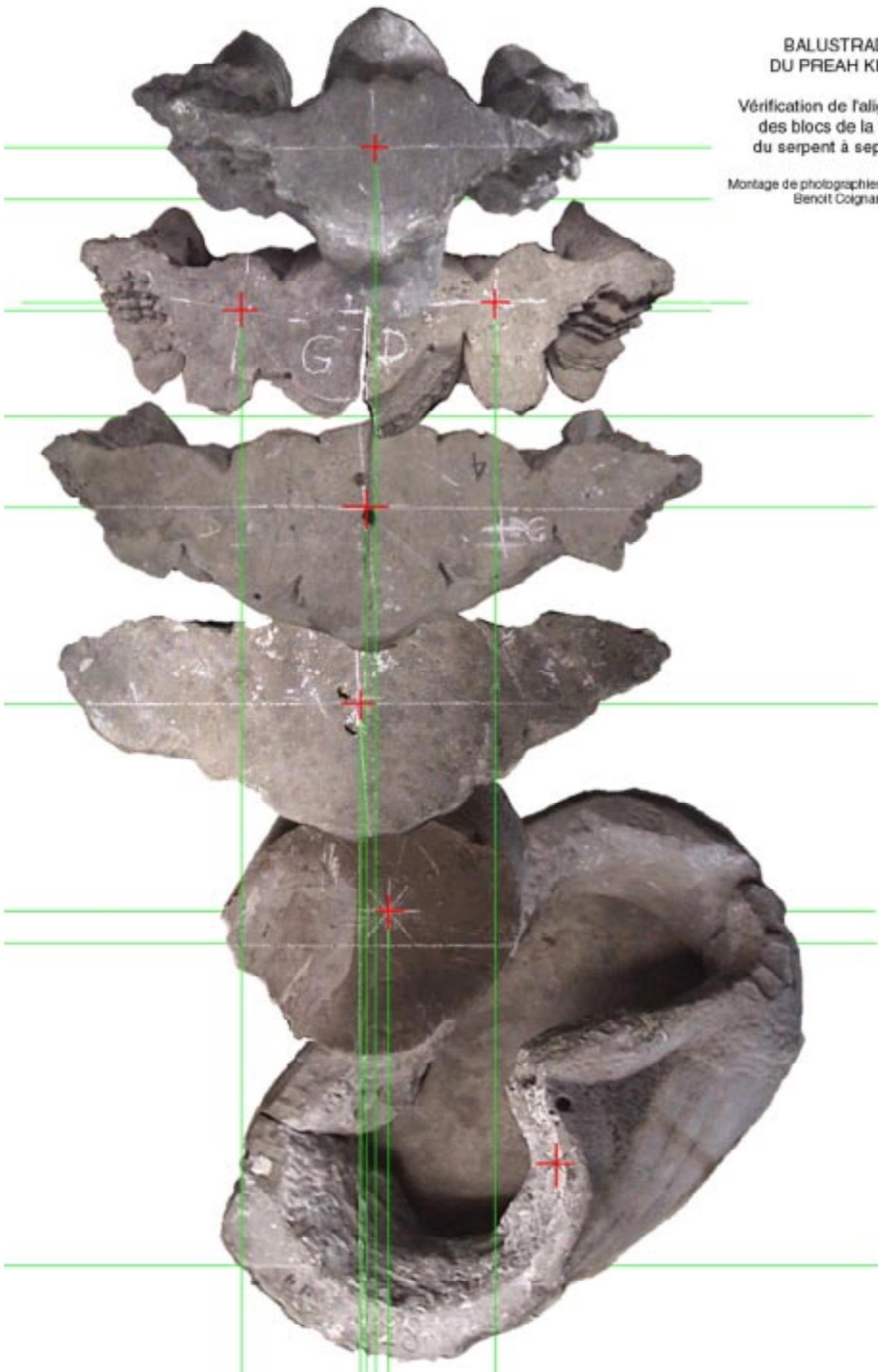
Pour effectuer l'étude statique complète d'un empilement de blocs, il faut faire coïncider trois types de données : le poids des blocs, les centres de gravité, et les coordonnées x , y , z des blocs dans l'espace relativement aux autres (voir planche : vérification de l'alignement des blocs). Les dix blocs concernés par cette étude appartiennent aux groupes deux et trois, soit : tous les blocs au dessus du premier rang évidé. Ils sont désignés par une lettre de l'alphabet de A à J. Le poids des blocs a été obtenu avec un dynamomètre avec une précision de 10 Kg. Lors du levage d'un bloc, l'axe z de la chaîne du palan passe par le centre de gravité. En réglant en x et y l'attache de la chaîne sur les sangles de levage de telle sorte que le bloc se soulève sans prendre d'inclinaison, se détermine l'axe passant par le centre de gravité pour la position horizontale du bloc. C'est cet axe qui a été relevé pour chacun des dix blocs avec une approximation de l'ordre du centimètre.

La position exact du centre de gravité sur l'axe z (dans la hauteur de chaque blocs), faute de pouvoir tourner et soulever les blocs dans les trois axes, a été fixée au jugé en appréciant le débit de la pierre. Les axes x , y et leurs diagonales devant être communs à tous les blocs pour les quatre points de vue, ils ont été établit par l'orientation générale de la figure du serpent à sept têtes sur l'axe z de référence (passant par le centre de gravité du bloc E). Ils ont été tracés au fil à plomb pour chaque bloc du groupe 2 et 3 et reportés par diverses mesures sur l'assise haute du groupe 1. Il est à noter que l'axe de gravité du bloc E est tangent à la rive du premier rang évidé. La hauteur mini/maxi en x et en y a été relevée pour chaque bloc et chaque groupe de blocs. Enfin les pentes ont été relevées en centimètres par mètre dans les quatre axes perpendiculaires aux prises de vue sur l'assise haute du groupe 1 et sur l'assise haute du groupe 2 (bloc E). Traduites en degré, ces mesures ont permis de corriger l'horizontalité des groupes 2 et 3 par une juste inclinaison lors de l'association des groupes 1, 2 et 3 sur les montages photographiques pour les quatre points de vue (le fil à plomb est visible sur les planches correspondant aux quatre points de vue et sont indiquées en degré les pentes relevées pour les deux assises).

BALUSTRADE
DU PRAEH KHAN

Vérification de l'alignement
des blocs de la figure
du serpent à sept têtes

Montage de photographies numériques
Benoit Colgnard



Montage photographique

Les données relevées par des mesures orthogonales ne peuvent coïncider à celles relevées par des prises de vue photographiques qu'en appliquant une correction mathématique des déformations dues au parallaxe, c'est à dire à l'angle formé par l'axe optique sur l'objet. S'il y a coïncidence à la perpendiculaire de l'objet - au centre de l'objectif - la déformation s'accroît à mesure que l'on s'éloigne en cercles concentriques. S'il est rapide de calculer la correction par triangulation pour un volume cubique, la géométrie complexe d'un ouvrage sculpté demande l'assistance d'une technologie appropriée dont nous ne disposons pas (photogrammétrie, lumière structurée ou bien entendu, numérisation des blocs). Pour un objectif placé dans un axe et une distance constante, les déformations sur l'objet sont proportionnelles à l'angle et symétriques, et deux prises de vue superposables.

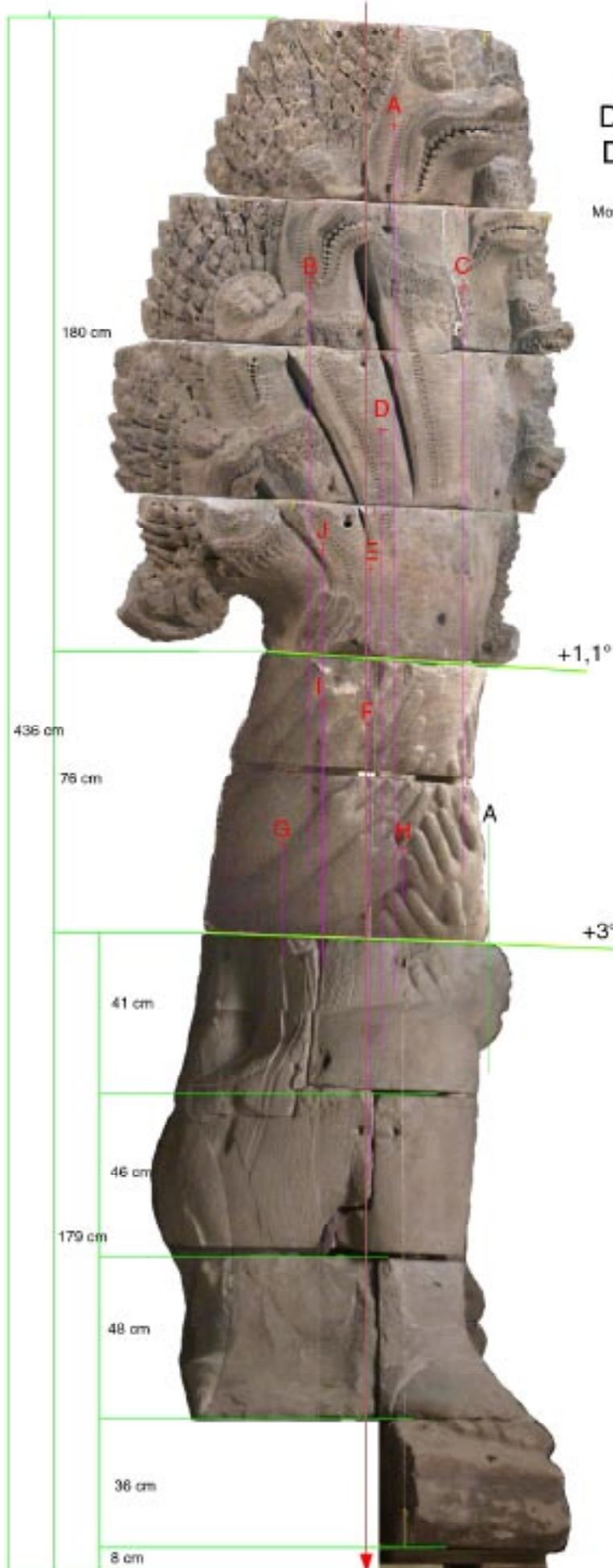
Nous avons donc choisi de procéder de la façon suivante : Toutes les prises de vues ont été effectuées à 4,5 m de distance de l'axe z de référence avec une caméra numérique à ouverture constante du zoom. Celle-ci était placée perpendiculairement à un axe x, y ou leur diagonales pour chacun des quatre points de vue, appelés "face", "profil", "diagonale-droite" et "diagonale-gauche" en référence à l'orientation de la figure du serpent à sept têtes. Pour le troisième groupe, les blocs A, D et E sont placés successivement sur les lignes tracées au sol se croisant à l'aplomb du centre de gravité du bloc E de référence. L'axe du centre de gravité est marqué par une équerre posée sur le plan haut du bloc (ainsi qu'une échelle de 50 cm perpendiculaire au point de vue) et par un trait de craie sur le bord du bloc pour les quatre axes. Un fil à plomb est placé devant le bloc dans l'alignement du centre de gravité et de l'objectif pour marquer sur la prise de vue la perpendiculaire à l'horizon de référence. Chacun a été l'objet de deux prises de vue, l'objectif placé tout d'abord à hauteur de la base du bloc - donc parallèle au plan bas - puis à hauteur du plan haut. Placé sur un fond noir pour faciliter le détournement, l'image des blocs a été extraite de son environnement. Les deux prises de vue de chaque bloc ont ensuite été superposées sur des calques, alignées à l'image du fil à plomb et chacune réduite à la moitié de sa hauteur de façon à ce que le plan haut et le plan bas soient des droites. Les deux calques sont alors mis à l'échelle 1/10 ème approchée (règle de 50 cm), puis fusionnés et corrigés en hauteur de façon à ce que la distance relevée sur les blocs entre le plan haut et le plan bas correspond à l'échelle 1/10. Cette opération est effectuée pour chacun des blocs du groupe 3 (voir planche figure du serpent à sept têtes). Placés à même échelle sur 5 calques distincts, les blocs sont ensuite associés pour restituer la figure du serpent à sept têtes. Cette image a une particularité : la description verticale est une axonométrie mais, de gauche à droite, demeure la déformation optique d'une perspective naturelle. Les mesures sont donc relativement exactes dans l'axe vertical, tandis qu'elle décroissent proportionnellement dans l'axe horizontal à mesure que l'on s'éloigne du centre. Cette déformation, constante dans notre montage, aura peu d'incidence sur les calculs ultérieurs pour la détermination du centre de gravité commun, puisqu'elle est proportionnelle et symétrique.

Les prises de vue du groupe 2 ont été facilitées par la superposition effective des blocs. Cependant, du fait de l'exiguïté du local, il était impossible de réaliser les quatre prises de vues à la distance étalon de 4,5 m. Le groupe a donc été monté deux fois pour effectuer successivement les prises de vue diagonale-droite et gauche, puis face et profil. Pour le groupe 3, la distance de 4,5 m ne permettait pas de saisir le groupe en largeur dans l'ouverture du zoom. A la succession verticale des prises de vue au niveau de chaque étage de blocs se sont ajoutés deux prises de vue complémentaires en largeur en faisant pivoter la caméra. Pour ces deux colonnes d'images complémentaires, la distorsion est évidemment plus importante que pour les groupes 2 et 3. Elle a été corrigée, par des déformations des images au montage, pour qu'une coïncidence visuelle permette d'apprécier la scène dans son ensemble. Cette distorsion accrue se trouvant en dehors de la zone étudiée pour l'équilibre des groupes 2 et 3 est donc sans conséquence sur les résultats de cette étude.

BALUSTRADE DU PREAH KHAN Diagonale gauche

Montage de photographies numériques
Benoit Colignard

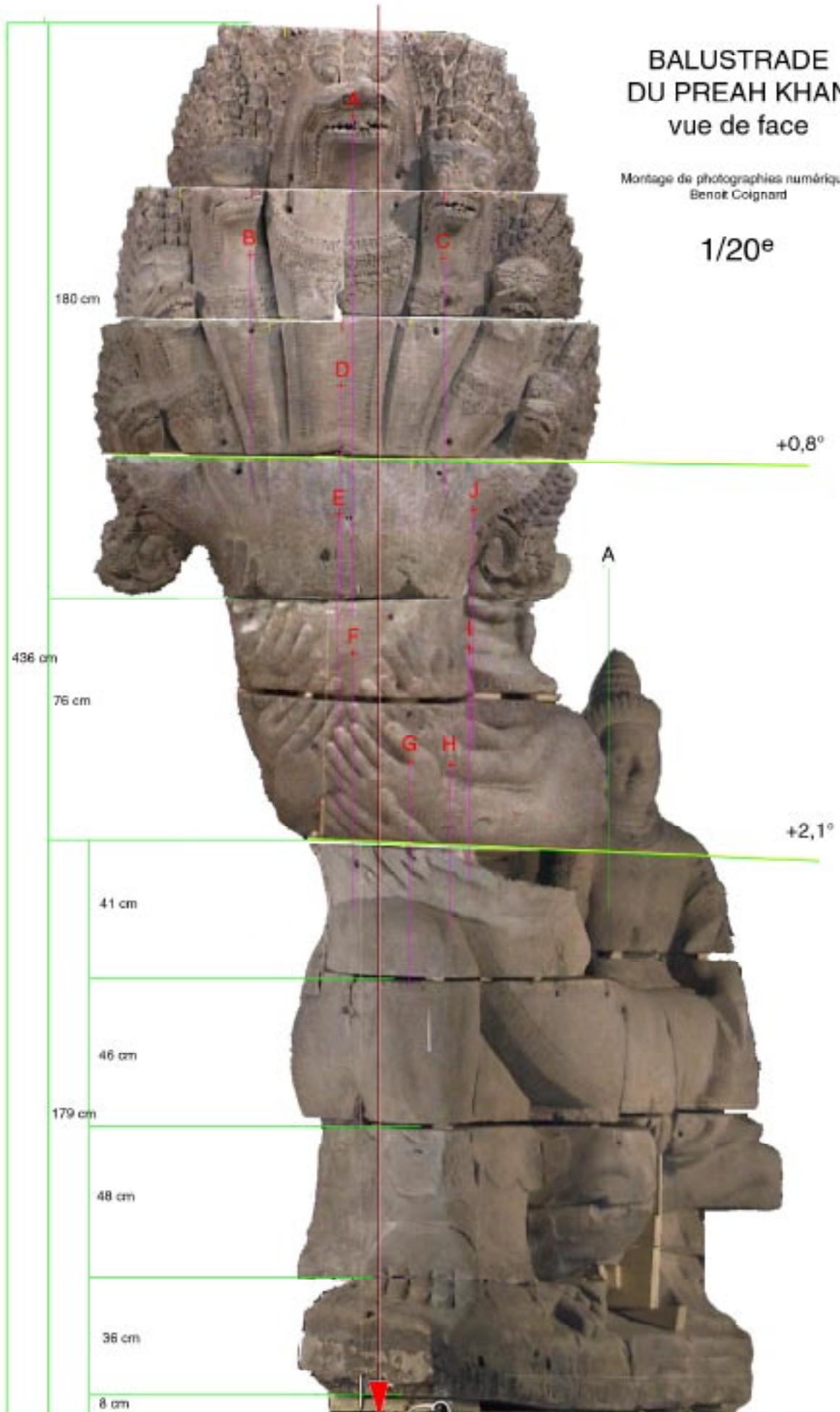
1/20^o



BALUSTRADE DU PREAH KHAN vue de face

Montage de photographies numériques
Benoit Coignard

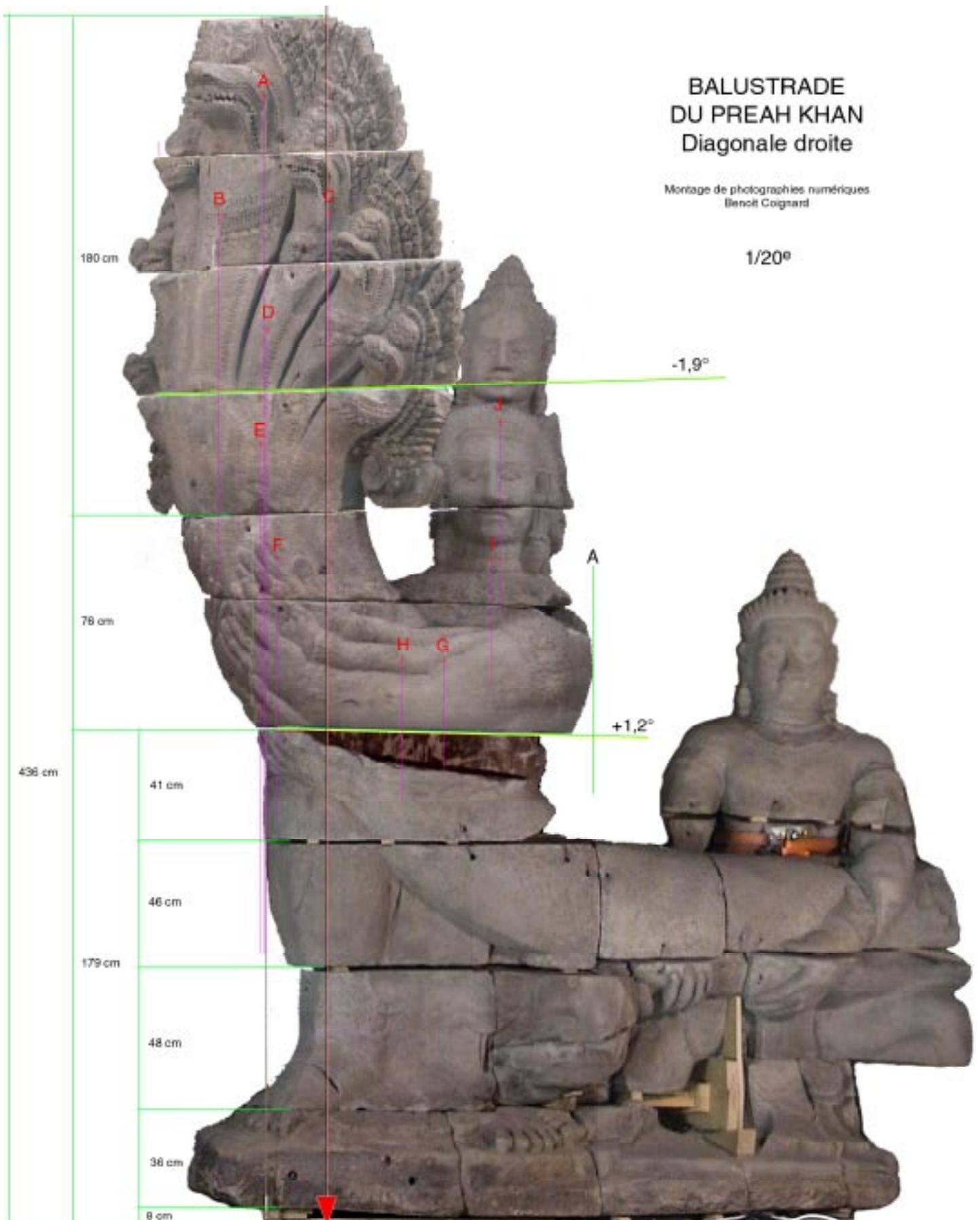
1/20^e



BALUSTRADE DU PREAH KHAN Diagonale droite

Montage de photographies numériques
Benoît Coignard

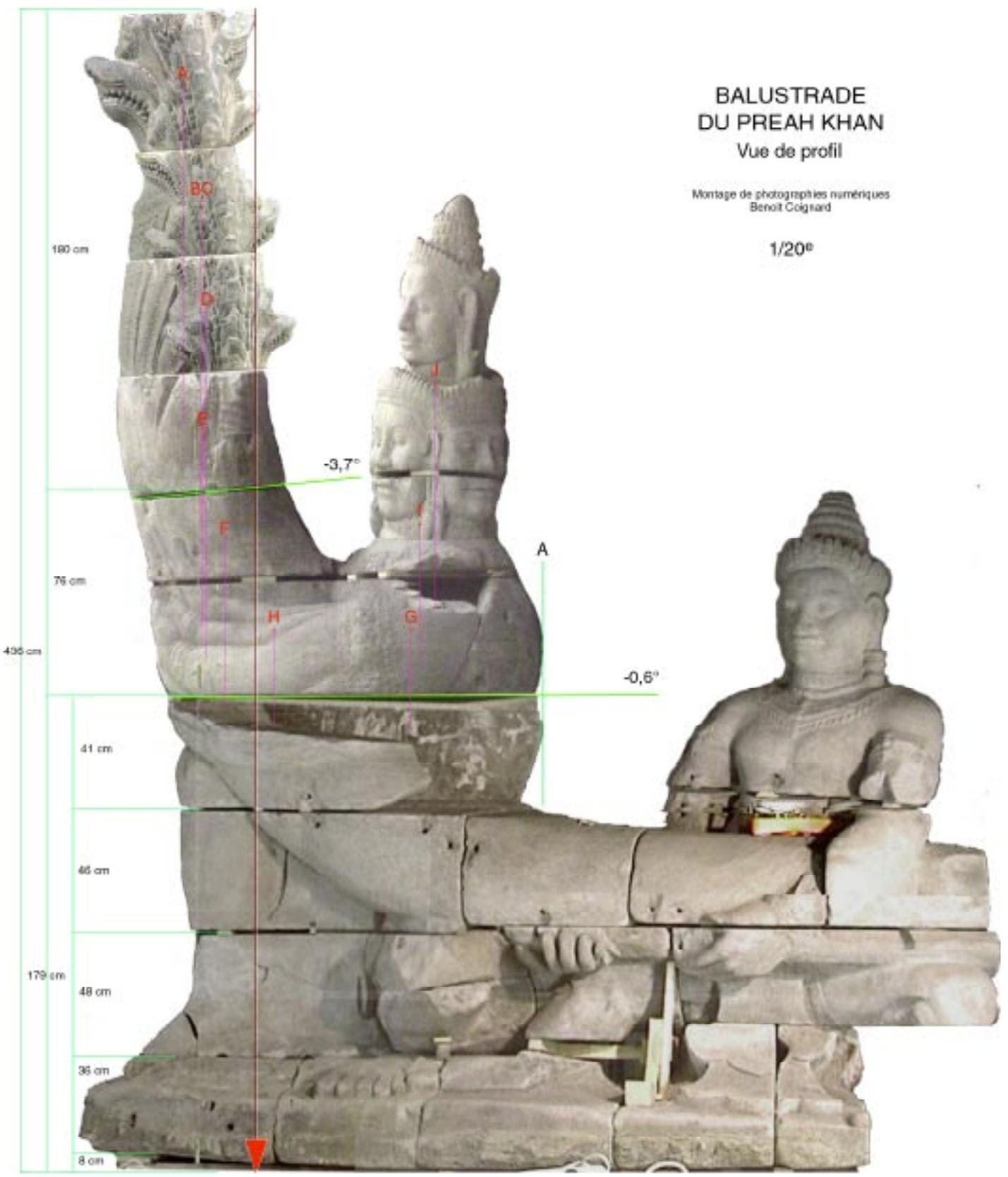
1/20°



BALUSTRADE
DU PREAH KHAN
Vue de profil

Montage de photographies numériques
Benoit Colgnard

1/20^e



L'étape suivante consiste à reconstruire la balustrade en superposant les groupes 1, 2 et 3 (voir planches des quatre points de vues : l'échelle a été reportée à 1/20e pour impression au format A4). Les verticales passant par le centre de gravité sont tout d'abord réduites à un point sur le bloc (une croix rouge). L'altitude de ce point, effectuée au jugé par rapport au débit du bloc est donc approximative. Elle augmente le degré d'imprécision à 3 cm environ (pour le bloc le plus haut et la pente la plus forte). Puis, les calques du groupe 3 sont fusionnés avant d'appliquer la correction angulaire de la base horizontale (le sol) pour la faire correspondre à la pente relevée dans l'axe perpendiculaire à la prise de vue sur le bloc E. L'image du groupe 3 est alors exportée sur un calque du groupe 2 et ajustée. La même série d'opération s'applique alors au groupe 2 : réduction des verticales des centres de gravité à un point (croix rouge sur les planches), fusion des calques et correction angulaire de la base horizontale par le degré de pente relevé sur l'axe perpendiculaire à la prise de vue sur l'assise du groupe 1 (premier rang évidé).

Étude statique

Nous disposons à présent de toutes les données du problème pour étudier la statique globale. Par les centres de gravité des dix blocs superposés sur le premier rang évidé, nous faisons passer une verticale perpendiculaire cette fois à la base de la balustrade. La première observation concerne les centres de gravité des blocs A, D et E. Sur la vue diagonale droite, ils sont, comme nous l'avons déjà remarqué, tangents à la rive du premier rang évidé. Dans quelle proportion le rapport poids/centre de gravité des blocs du groupe 2, soit F, G&H (second rang évidé), I et J (quintuple tête), vont-ils corriger cet équilibre précaire ? La réponse dépend de la position du centre de gravité global des groupes de blocs en question. Le calcul du centre de gravité commun à deux blocs s'obtient par la formule suivante : Soit P1 et P2 respectivement poids des blocs 1 et 2. Soit G1 et G2 distance de la verticale des centres de gravité des blocs 1 et 2 à une verticale de référence A commune aux deux blocs (fixée en l'occurrence à la tangente droite du bloc le plus bas). $(P1.G1 + P2.G2) / P1+P2 = G3$ distance entre la verticale A et le centre de gravité commun aux deux blocs (voir annexes : calculs du centre de gravité).

Ce calcul a été effectué pour chacun des quatre points de vue par addition progressive des blocs A, B, C, D, E et F (A+B, AB+C, etc.) pour déterminer le point d'équilibre de la figure complète (incluant le "cou") du Naga ; puis par addition des blocs G, H, I et J au résultat obtenu précédemment (la verticale du centre de gravité global est marquée par une ligne terminée d'une flèche rouge sur chacune des quatre vues). Comme l'on pouvait s'y attendre, nous remarquons que la superposition des blocs A, B, C, D, E et F a très peu d'incidence sur la position du centre de gravité qui varie de 1 à 5 cm selon les points de vue. Or cet ensemble de blocs représente 67% du poids total des dix blocs étudiés (3285 kg), soit 2215 kg de pression qui s'expriment tangentiellement à la rive de l'assise (premier rang évidé). Les blocs G et H (deuxième rang évidé) pèsent 650 kg, soit 19,7% de l'ensemble. Ils corrigent favorablement la position du centre de gravité de 9,5 cm dans le profil et de 12,5 cm en vue diagonale gauche. Mais c'est sans conteste les deux blocs de la quintuple tête qui ont la plus forte incidence sur la position du centre de gravité global, et ce, malgré le faible poids (420 kg, soit 12,7% de l'ensemble), puisqu'il recule de 18,7 cm de profil et de 21,4 cm en vue diagonale droite par rapport au centre de gravité général de la figure du serpent à sept têtes. Il convenait enfin de vérifier la validité de ces calculs en projetant sur une vue en plan des deux niveaux de blocs évidés la position du centre de gravité global déterminé sur chacune des quatre vues (voir vue en plan n°1 & 2). Trois des quatre lignes se recoupent précisément ; la quatrième, issue des calculs effectués sur la vue de face, montre une erreur de 2,5 cm. La projection du centre de gravité global passe dans la zone creuse des blocs G & H. Par contre, pour ce qui est du premier rang de blocs évidés, l'axe vertical du centre de gravité traverse pour moitié le vide et la pierre, l'intérieur du bloc étant taillé de biais (voir vue en plan n°2).

CALCULS DU CENTRE DE GRAVITÉ

1

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE POUR LE REMONTAGE DE LA BALUSTRADE DU PREAH KHAN

Poids en Kg		Distance AG en cm		FORMULE	RÉSULTAT
BLOC 1	BLOC 2	BLOC 1	BLOC 2		
P1	P2	G1	G2	$x = \frac{P1.G1 + P2.G2}{P1+P2} =$	G3

VUE DE FACE

BLOC A + BLOC B	345	220	80	111	$x = \frac{27600 + 24420}{565} =$	92,1
+ BLOC C	565	200	92,071	52	$x = \frac{52020 + 10400}{765} =$	81,6
+ BLOC D	765	600	81,595	83	$x = \frac{62420 + 49800}{1365} =$	82,2
+ BLOC E	1365	570	82,212	84	$x = \frac{1E+05 + 47880}{1935} =$	82,7
+ BLOC F	1935	280	82,739	80	$x = \frac{2E+05 + 22400}{2215} =$	82,4
+ BLOC G	2215	250	82,393	62	$x = \frac{2E+05 + 15500}{2465} =$	80,3
+ BLOC H	2465	400	80,325	49	$x = \frac{2E+05 + 19600}{2865} =$	76
+ BLOC I	2865	170	75,951	43	$x = \frac{2E+05 + 7310}{3035} =$	74,1
+ BLOC J	3035	250	74,105	42	$x = \frac{2E+05 + 10500}{3285} =$	71,7

VUE DE PROFIL

BLOC A + BLOC B	345	220	134	128	$x = \frac{46230 + 28160}{565} =$	132
+ BLOC C	565	200	131,66	128	$x = \frac{74390 + 25600}{765} =$	131
+ BLOC D	765	600	130,71	126	$x = \frac{99990 + 75600}{1365} =$	129
+ BLOC E	1365	570	128,64	127	$x = \frac{2E+05 + 72390}{1935} =$	128
+ BLOC F	1935	280	128,16	119	$x = \frac{2E+05 + 33320}{2215} =$	127
+ BLOC G	2215	250	127	49,5	$x = \frac{3E+05 + 12375}{2465} =$	119
+ BLOC H	2465	400	119,14	100,5	$x = \frac{3E+05 + 40200}{2865} =$	117
+ BLOC I	2865	170	116,54	46	$x = \frac{3E+05 + 7820}{3035} =$	113
+ BLOC J	3035	250	112,58	40	$x = \frac{3E+05 + 10000}{3285} =$	107

CALCUL DU CENTRE DE GRAVITÉ

2

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE POUR LE REMONTAGE DE LA BALUSTRADE DU PREAH KHAN

Poids en Kg		Distance AG en cm		FORMULE	RÉSULTAT
BLOC 1	BLOC 2	BLOC 1	BLOC 2		
P1	P2	G1	G2	$x = \frac{P1.G1}{P1+P2} + \frac{P2.G2}{P1+P2}$	G3

VUE DIAGONALE GAUCHE

BLOC A + BLOC B	345	220	27	51	$x = \frac{9315}{565} + \frac{11220}{565} = 36,3$
+ BLOC C	565	200	36,345	8	$x = \frac{20535}{765} + \frac{1600}{765} = 28,9$
+ BLOC D	765	600	28,935	31	$x = \frac{22135}{1365} + \frac{18600}{1365} = 29,8$
+ BLOC E	1365	570	29,842	34	$x = \frac{40735}{1935} + \frac{19380}{1935} = 31,1$
+ BLOC F	1935	280	31,067	34	$x = \frac{60115}{2215} + \frac{9520}{2215} = 31,4$
+ BLOC G	2215	250	31,438	58,5	$x = \frac{69635}{2465} + \frac{14625}{2465} = 34,2$
+ BLOC H	2465	400	34,183	24,5	$x = \frac{84260}{2865} + \frac{9800}{2865} = 32,8$
+ BLOC I	2865	170	32,831	47	$x = \frac{94060}{3035} + \frac{7990}{3035} = 33,6$
+ BLOC J	3035	250	33,624	46	$x = \frac{1E+05}{3285} + \frac{11500}{3285} = 34,6$

VUE DIAGONALE DROITE

BLOC A + BLOC B	345	220	118	134	$x = \frac{40710}{565} + \frac{29480}{565} = 124$
+ BLOC C	565	200	124,23	95	$x = \frac{70190}{765} + \frac{19000}{765} = 117$
+ BLOC D	765	600	116,59	117	$x = \frac{89190}{1365} + \frac{70200}{1365} = 117$
+ BLOC E	1365	570	116,77	119,5	$x = \frac{2E+05}{1935} + \frac{68115}{1935} = 118$
+ BLOC F	1935	280	117,57	113	$x = \frac{2E+05}{2215} + \frac{31640}{2215} = 117$
+ BLOC G	2215	250	117	53	$x = \frac{3E+05}{2465} + \frac{13250}{2465} = 111$
+ BLOC H	2465	400	110,51	68	$x = \frac{3E+05}{2865} + \frac{27200}{2865} = 105$
+ BLOC I	2865	170	104,57	36,5	$x = \frac{3E+05}{3035} + \frac{6205}{3035} = 101$

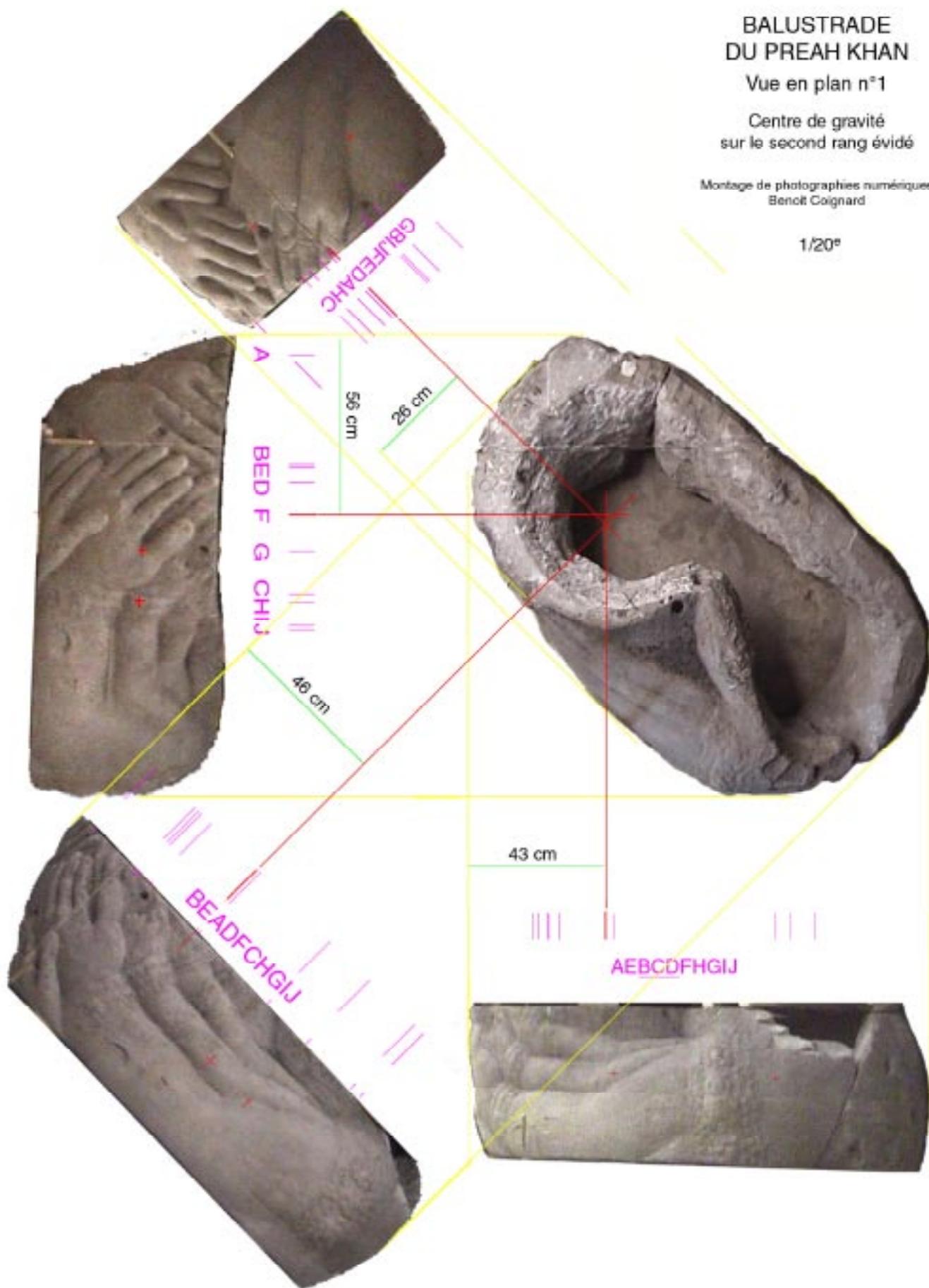
BALUSTRADE DU PREAH KHAN

Vue en plan n°1

Centre de gravité
sur le second rang évidé

Montage de photographies numériques
Benoît Coignard

1/20°

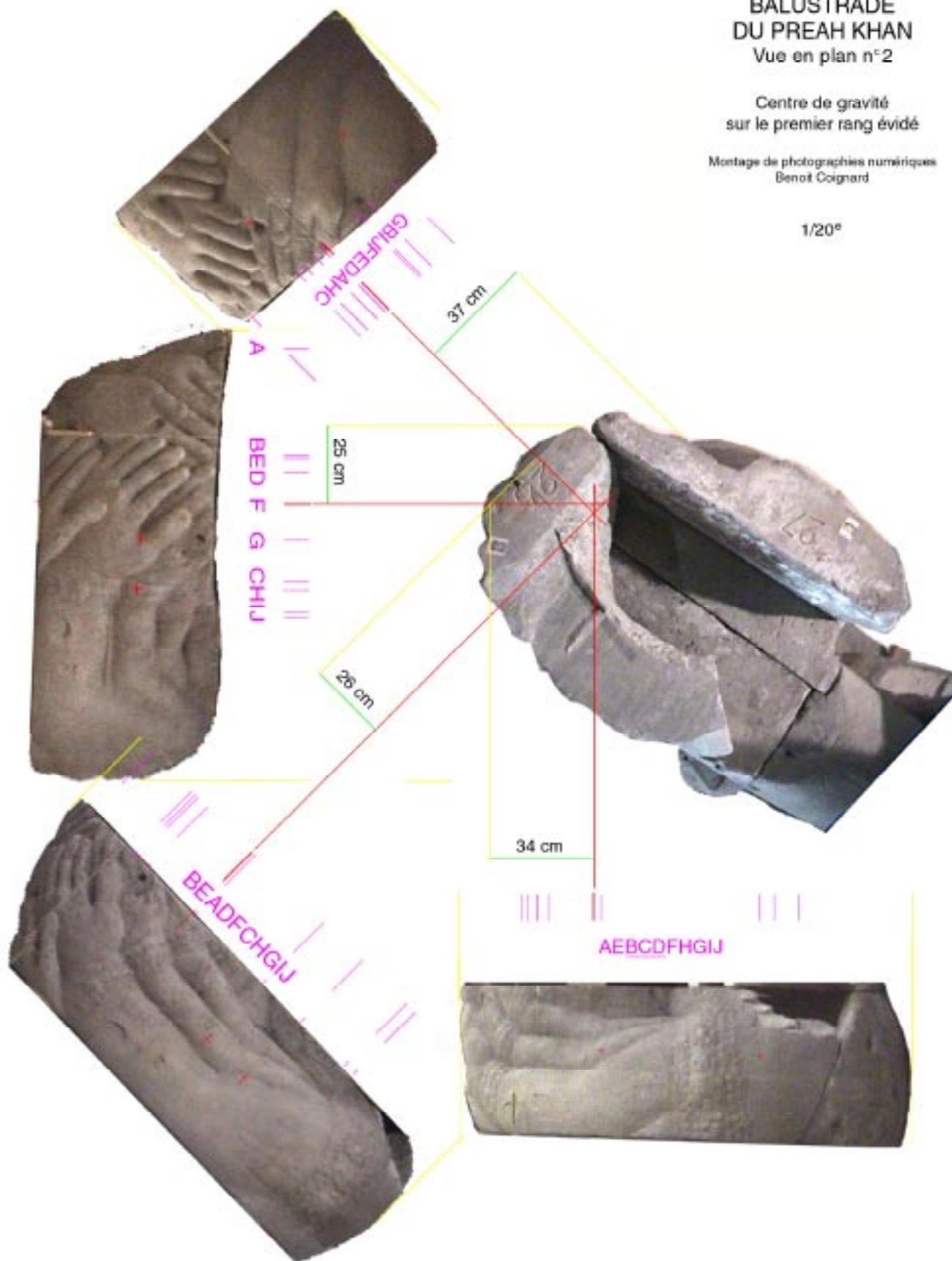


BALUSTRADE
DU PREAH KHAN
Vue en plan n°2

Centre de gravité
sur le premier rang évidé

Montage de photographies numériques
Benot Coignard

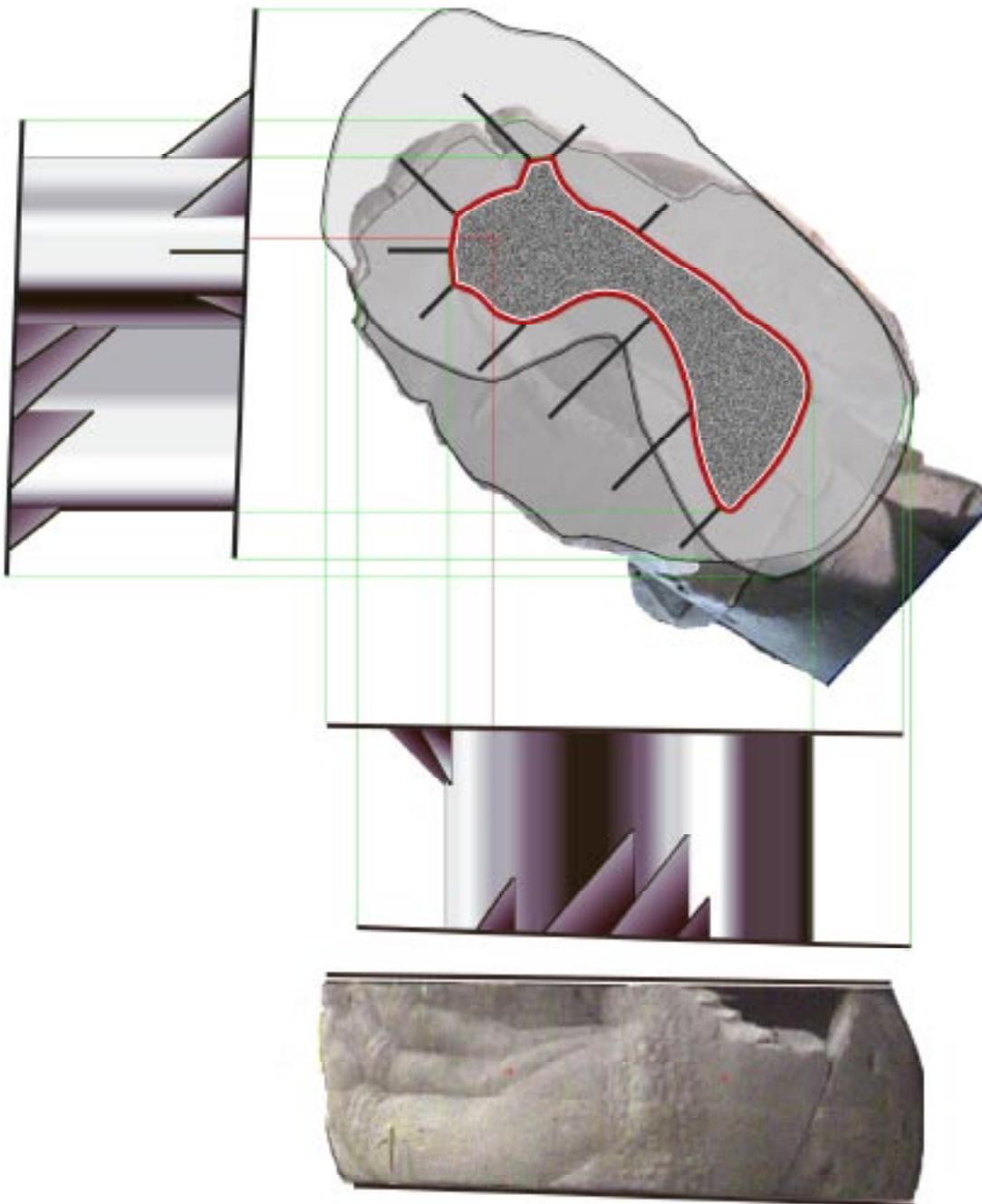
1/20°



BALUSTRADE
DU PREAH KHAN
Vue en plan n°3

Projet de structure
renforcement du second
rang évidé

1/20^e



Conclusion

Cette position, relativement proche encore de la tangente de l'assise (la distance minimale relevée étant de 25 cm sur la vue de face), indique néanmoins un équilibre théorique de l'édifice global. Reste à considérer l'incidence d'une pression de plus de trois tonnes sur une tranche de pierre de faible épaisseur de la zone évidée (15 cm env. pour le bloc H) qui subit un effort en cisaillement (le bloc H et inférieur étant évidés en biais). Cette situation impose plusieurs constatations : l'absence de porte-à-faux entre deux blocs superposés doit permettre de se passer d'insert métallique (comme les agrafes d'origines) liant les rangs les uns aux autres ; il faudra suivre un ordre logique dans le montage des blocs (G, H, I, J, F, E, etc.) car si la figure du Naga était remontée avant la quintuple tête, l'ensemble serait, en effet, temporairement proche du déséquilibre ; D'autre part, il sera possible et utile d'accroître la stabilité en lestant le corps creux des blocs évidés par un matériau dense pour replacer le centre de gravité global vers milieu de la zone creuse. Il faudra répartir la charge sur la surface la plus importante possible en intercalant des plaques de répartition à l'interface haute et basse des blocs creux et des blocs massifs. Enfin il serait utile de soulager la couronne de pierre évidée de toute ou partie de la charge ; celle-ci pourrait transiter, soit par un volume massif (bloc de béton servant de lest par exemple), soit par une structure métallique lestée solidarissant les plaques de répartition haute et basse. Le choix entre ces deux solutions a été difficile. La seconde a été retenue du fait de la position tangente du centre de gravité au volume évidé. Un bloc de béton supporterait difficilement, en effet, que des efforts importants se concentrent sur le bord.

Méthode de remontage

Le principe du montage à sec est donc envisageable pour la totalité de l'œuvre. Les blocs sont empilés bord à bord mais avec des cales de plomb qui évitent un contact direct entre les blocs de grès et donc leur abrasion au moment de la mise en place. Demeure un espace résiduel au droit des joints de 3 à 5 mm environ. L'irrégularité de la base en revanche oblige à corriger l'assise horizontale par des cales de hauteur variable. La solution idéale consiste à mouler un matériau de bonne résistance à la compression (mortier) et au fluage (mortier de résine) entre deux films plastiques placés entre l'assise et la pierre. La cale moulée n'adhère ni à l'un ni à l'autre (§ fronton des danseuses) et répartit la charge. Le problème est de trouver la juste position de chacune des pierres du premier rang avant d'avoir placé les pierres du second rang. C'est en effet aux rangs supérieurs que se révéleront des décalages qui obligeront à corriger la hauteur et/ou l'inclinaison des blocs du premier rang. Les cales moulées seront donc réalisées par insertion du mortier entre le support et la pierre après montage sur cales de bois des deux ou trois premiers rangs. Deux volumes parallélépipédiques seront réalisés en béton et surfacés d'un ragréage d'aspect grés pour restituer l'assise des blocs manquants (pied gauche du personnage à quintuple tête et base du genou droit du Deva). Un support métallique (à concevoir) sera réalisé et installé pour stabiliser les blocs du corps du serpent et des main et genou gauches du Deva sous la partie ajourée de la balustrade.

Les deux rangées de blocs évidés seront chacune renforcées par une structure en acier telle que décrite sur la vue en plan n°3 pour le second rang. Elle est constituée horizontalement de plaques de répartition en acier de 8 mm d'épaisseur, placées entre les blocs et découpées suivant leur contour, à deux centimètres en retrait de la rive. Le noyau vertical est formé d'une tôle cintrée de 5 mm d'épaisseur (en rouge) épousant le profil de l'espace évidé disponible sur la hauteur du bloc. Cette forme fermée et soudée aux plaques de répartition haute et basse est d'une grande rigidité structurelle. L'espace vide sera chargé d'un lest (grenaille de fer ou de plomb) pour augmenter le poids du rang et reporter vers l'arrière le centre de gravité global. Le poids nécessaire (structure en acier + lest) sera calculé pour faire passer le nouveau

centre de gravité à la verticale de la zone creuse de la première rangée évidée. Afin de limiter la charge résiduelle sur les blocs évidés, la flexibilité de la plaque de répartition sera atténuée par des équerres d'acier soudées, disposées dans les espaces restant de la zone évidée. Une structure en acier similaire sera réalisée pour le premier rang de blocs évidés. La plaque de répartition intermédiaire étant commune aux deux parties, leur assemblage se fera mécaniquement par des boulons.

Les différences entre la planéité des plaques de répartition et la surface irrégulière des blocs de grés seront compensées par un mortier de résine incompressible, adhérent à l'acier et moulé à la pierre. Cette mesure prévient en outre le risque de glissement de la pierre sur l'acier lisse en raison de la légère pente (maximum de 3° sur la vue diagonale gauche). La restitution d'un volume simplifié dans les deux zones lacunaires importantes, s'impose pour augmenter l'assise et donc la répartition des charges, ainsi que d'un point de vue esthétique ; elle permettra, en effet d'occulter la présence de la structure en acier et l'évidement anachronique des deux rangées. Indépendants des blocs, les volumes restitués seront modélés en mortier de résine, armé et surfacés d'un ragréage d'aspect grés pour une intégration discrète (voir simulation des restitution sur les montages photographiques dans le hall du musée).

Présentation dans le hall du Musée Guimet

La présentation de la balustrade de Preah Khan dans la partie haute du hall d'accueil, à l'entrée des salles d'art Khmer est logique du fait de sa monumentalité lui permettant d'être appréciée dès l'entrée jusqu'aux degrés de l'escalier. Mais elle appelle deux remarques ; d'une part l'œuvre se trouvera en contre jour par rapport à la lumière naturelle de la verrière de la salle Khmère ; d'autre part sa hauteur maximum (4,36 m d'après le montage photographique ; 4,30 m attendu avec un montage des blocs sur cales de plomb) dépasse la hauteur du plafond qui la précède sous le palier d'étage (4,10 m). Nous avons procédé à l'évaluation de la position proposée par le cabinet Gaudin en plaçant une perche de 4,30 m à la verticale de l'emplacement de la tête. Nous avons constaté que, lors de la progression depuis la rotonde, la visibilité du Naga est coupée dès que l'on gravit les premières marches et jusqu'au niveau des colonnes qui font face à l'escalier monumental. Nous avons renouvelé l'expérience en reculant la perche de 0,90m de telle sorte que l'extrémité de la balustrade s'aligne au nu du mur intérieur de la salle. Dans le sens de la largeur - le seuil mesurant 3,50 m - nous avons placé l'œuvre à 0,40m du mur. Elle occuperait donc 1,66m, laissant un espace de circulation de 1,84m. Dans cette position - que nous recommandons - la visibilité de l'œuvre est constante sous tous les points de vue. Sans pénétrer dans la salle, l'œuvre n'est plus isolée dans le hall ; elle s'encastre dans l'épaisseur du seuil, signalant que l'on se dirige vers la collection Khmère à laquelle elle appartient. Cette étude se conclue sur trois montages photographiques prévisualisant l'œuvre dans hall pour les points de vue "face" et "profil" ainsi que la vue "diagonale droite" sur la page de couverture. La vue "diagonale gauche" se trouvant dans l'axe de la colonne n'est pas exploitable faute de recul et il manque malheureusement une prise de vue intermédiaire dans l'axe majeur de l'accès du public.

Dreux le 2 décembre 99
Benoit Coignard



Prévisualisation de la présentation dans le hall du musée
Vue de face



Prévisualisation de la présentation dans le hall du musée
Vue de profil,