

14h Congress of the International Society of Photogrammetry

H A M B U R G 1 9 8 0

C O M M I S S I O N V

Presented Paper

E.E.STAMBOULOGLOU, Athènes Grèce.

RELEVÉ PHOTOGRAMMETRIQUE PARTIEL DU THEATRE DE DIONYSOS AVEC
SIMPLE METHODE DE REDUCTION POUR L' EVALUATION DES IMAGES NON METRIQUES

R E S U M E

Un grand nombre de Photogrammetres a évalué le potentiel des systèmes basés sur des chambres de prise de vues non métriques. Dans la majorité des cas, l'évaluation des images non-métriques a été faite à l'aide des systèmes de Photogrammetrie Analytique. Les résultats ont démontré que le système de la chambre non-métrique assisté de Photogrammetrie Analytique, donne des précisions comparables à celles des systèmes métriques.

Cet article est basé sur deux applications réalisées avec des prises de vues non-métriques, évaluées simplement avec la méthode analogique. Dans les deux cas les images de format 6x6 cm., ont été redressées à l'aide d'un simple agrandisseur. Les résultats ont été contrôlés, par des points d'appui et des calculs simples, réalisés sur une calculatrice HP-65.

Les expériences réalisées et les résultats obtenus, nous avons constaté que le processus suivi est valable pour des projets de relevés architecturaux des objets relativement plans. Le matériel nécessaire du système se trouve facilement tandis que la simplicité du processus permet son utilisation par des non spécialistes.

1. INTRODUCTION

Les applications de la Photogrammetrie, en Grèce, réservées aux relevés des Monuments et des Sites, sont très rares, et consistent en quelques exemples de Photogrammetrie Architecturale et Monumentale, faits par le Laboratoire de Photogrammetrie de l'U.T.N. à Athènes.

La situation, en ce qui concerne la Photogrammetrie appliquée aux relevés des Monuments et des Sites, n'est pas améliorée, depuis des années, puisque le Service Archéologique, n'a pas jusqu'à présent créé les conditions nécessaires pour le développement de ces applications en Grèce.

Un des principaux obstacles à l'adoption de la "moderne technologie" -en dehors des doutes émis par certains architectes et archéologues- est le prix élevé du matériel et surtout la difficulté d'avoir le personnel scientifique et technique nécessaire.

Depuis quelques années, une tendance entre les photogrammetres s'est développée vers l'utilisation d'appareils de prise de vues non métriques, assistés de la Photogrammetrie Analytique. Les résultats obtenus jusqu'à présent, ont démontré qu'on peut atteindre facilement des précisions comparables à ceux des chambres métriques.

Dans l'article qui suit, nous proposons l'utilisation (dans le cas où l'on ne peut pas avoir appui à des instruments Photogrammetriques), de systèmes photographiques bien répandus pour des applications (surfaces planes) qui exigent une moyenne à une petite précision. Nous en présentons deux applications faites en collaboration avec les ingénieurs MM. Wurster et Kazamiakis, qui travaillent au théâtre de Dionyssos, aux pieds de l'Acropole d'Athènes.

Le processus proposé est facile à réaliser et laisse de côté la nécessité coûteuse des instruments Photogrammetriques, en utilisant une chambre de format 6x6 cm. non métrique et un agrandisseur photographique.

Cette expérience a été rendue possible grâce au concours bienveillant des MM. N. et N. Matinopoulos, qui nous ont fourni les appareils photographiques nécessaires le premier et construit le bipied le second.

2. LE PROCESSUS ET SES APPLICATIONS

Pour les relevés demandés au Théâtre de Dionyssos (voir 2.1 et 2.2), nous avons adopté la méthode de redressement analogique, étant donné que les objets présentent des surfaces relativement planes.

2.1 L'ORCHESTRE DU THEATRE DE DIONYSSOS

La première application avait comme but le relevé détaillé de la partie centrale de l'orchestre du Théâtre de Dionyssos, un rhombe constitué de plaques également rhomboidales, régulières, de 0.25 m. de côté.

Les ingénieurs MM. Wurster et Kazamiakis avaient fini le relevé du théâtre au 1:20 par des méthodes classiques, sauf la partie centrale qui présente plus de difficultés en raison du nombre de détails.

C'est ainsi qu'ils ont fait appel à la Photogrammetrie.

La chance voulut qu'à cette époque nous avions fait construire un bipied, ayant peu de différences avec celui de J. WHITTLESEY /1/.

Pour les prises de vues nous avons utilisé le bipied avec une chambre BRONICA de focale 75mm., à axe vertical vers le nadir, équipée de commun film AGFA. L'échelle des négatives était approximativement 1:80. Ensuite, les prises de vues ont été redressées (épreuves sur papier), sur un agrandisseur DURST à plan de projection inclinable.

La mise à l'échelle et le redressement ont été faites à l'aide des points d'appui prébalisés et mesurés à la surface de l'objet.

Les résidus trouvés aux points d'appui sur les épreuves à l'échelle 1:20 étaient très petits et de l'ordre de 3/4 du mm. Chaque photo redressée (au total douze, alignées sur trois bandes), a été utilisée pour le transfert des détails consécutivement, sur un papier calque stable auquel étaient reportés les points d'appui à l'échelle.

2.2 LE MUR DE SOUTIEN (ANALEMMA) EST DU THEATRE

La seconde application concernait le relevé pour la documentation, qui exigeait donc une faible précision, du mur de soutien (analemma) Est du même Théâtre, au 1:20. Les photos étaient faites à axe horizontal (chambre BRONICA).

Des jalons verticaux ont été utilisés comme points d'appui, posés tous les deux mètres et à une droite se trouvant à dix centimètres devant le mur; le mur présente un relief de l'ordre de 10 à 15 cm., surtout aux jointures des blocs de pierres.

Le redressement des photos a été fait au même agrandisseur DURST (épreuves sur papier). Une fois, la photo redressée, s'utilisait de la même façon comme à la première application.

3. LA VERIFICATION ANALYTIQUE ET STATISTIQUE DES RESULTATS

OBTENUS

3.1 LE PROCESSUS SUIVI

Après avoir obtenu des résultats, jugés excellents par les ingénieurs qui s'en sont servi pour faire le dessin par superposition graphique, nous avons voulu procéder à une vérification par voie analytique en calculant en même temps l'erreur moyenne quadratique de l'unité de poids pour chaque photo redressée.

Cette vérification a été faite pour les douze photos de la première application citée.

En supposant que les systèmes intermédiaires qui sont utilisés pour la production de la photo redressée, ont, pour des raisons pratiques, des aberrations négligeables, nous pouvons accepter une application linéaire qui existe entre l'objet (plan) et son image redressé; c'est à dire:

$$\begin{aligned}x &= a + \cos\theta \cdot X - \sin\theta \cdot Y \\ y &= b + \sin\theta \cdot X + \cos\theta \cdot Y\end{aligned}\quad (1)$$

où: x, y : coordonnées-image des points d'appui

X, Y : coordonnées-objet des points d'appui

a, b, θ : déplacements et rotation appliquée au deuxième système pour qu'il coïncide avec le premier.

Le résultat final du processus suivi, à savoir, les photos, est utilisé à la même échelle, pour le dessin des détails par superposition graphique. La précision demandée, donc, sur les photos, est celle de la précision graphique (0.2 du mm.). Avec cette précision nous avons mesuré les coordonnées-image des points d'appui en utilisant une simple règle graduée et un simple canevas tracé sur un papier calque stable et le superposant sur la photo. Pour la mesure des coordonnées-objet des points d'appui nous avons utilisé la méthode de multi-intersection. Chaque point a été visé à partir de trois stations de théodolite; ses coordonnées horizontales calculées au système local approprié, ont présenté une moyenne erreur quadratique de 1 mm. L'orientation du canevas pour la mesure des coordonnées-image a été faite de façon à ce que la rotation entre les deux systèmes (image-objet) soit telle que, $\sin \theta = 0$. Alors la relation (1) transformée en équation d'observation, est:

$$\begin{aligned}x + v_x &= a + X - \theta \cdot Y \\ y + v_y &= b + \theta \cdot X + Y\end{aligned}\quad (2) \quad \text{ou} \quad \begin{aligned}a - \theta \cdot Y &= x - X + v_x \\ b + \theta \cdot X &= y - Y + v_y\end{aligned}\quad (3)$$

et en forme de matrice :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -Y \\ 0 & 1 & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ \vartheta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x-X \\ y-Y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} \quad (4)$$

et finalement :

$$B_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -Y_i \\ 0 & 1 & X_i \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

$$B_i \cdot D = C_i + V_i \quad (5) \quad \text{ou :} \quad D = [a \ b \ \vartheta]^T \quad (5.2)$$

$$C_i = \begin{bmatrix} x_i - X_i \\ y_i - Y_i \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

$$V_i = [v_{xi} \ v_{yi}]^T \quad (5.4)$$

pour chaque point d'appui (i) à chaque photo.

Pour chaque photo et pour la somme de ses points d'appui, nous aurons les équations d'observation :

$$B = [B_1 \ B_2 \ \dots \ B_n]^T \quad (6.1)$$

$$D = [a \ b \ \vartheta]^T \quad (6.2)$$

$$B \cdot D = C + V \quad (6) \quad \text{où :} \quad C = [C_1 \ C_2 \ \dots \ C_n]^T \quad (6.3)$$

$$V = [V_1 \ V_2 \ \dots \ V_n]^T \quad (6.4)$$

Le calcul des inconnues pour chaque photo (a,b,ϑ) se fait par la méthode des moindres carrés. La formation des équations normales est donc :

$$(B^T B) \cdot D = B^T C \quad (7) \quad \text{et la solution :} \quad D = (B^T B)^{-1} B^T C \quad (8)$$

Après les calculs intermédiaires, l'équation (8) s'écrit :

$$D = \begin{bmatrix} a \\ b \\ \vartheta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & 0 & -\sum Y_i \\ 0 & n & \sum X_i \\ -\sum Y_i & \sum X_i & \sum (X_i^2 + Y_i^2) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum (x_i - X_i) \\ \sum (y_i - Y_i) \\ \sum X_i (y_i - Y_i) - Y_i (x_i - X_i) \end{bmatrix} \quad (9)$$

Les résidus v_x et v_y sur les points d'appui se trouvent à partir de l'équation (5), et donnent :

$$V_i = B_i \cdot D - C_i \quad (10)$$

tandis que l'erreur moyenne quadratique à posteriori de l'unité de poids est :

$$\sigma_0^2 = \frac{[v \ v]}{2 \cdot n - f} \quad (11)$$

Ou : n est le nombre des points d'appui

f est le nombre des inconnues à déterminer (trois).

Tous les calculs nécessaires ont été faits avec une calculatrice programmable l'H.P.-65.

3.2 LES RESULTATS ET LEUR INTERPRETATION

Nous présentons ci-dessous en résumé les résultats obtenus pour les douze photos de la première application. Pour chaque photo nous donnons:

a/ son numero

b/ le nombre des points d'appui

c/ le résidu maximum en x(absolu) $\max Iv_x I$ en mm.

d/ le résidu maximum en y(absolu) $\max Iv_y I$ en mm.

e/ le residu maximum horizontal $\max (v_x^2 + v_y^2)^{1/2}$ en mm.

f/ le σ_0 en mm.

num.photo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
nom.points	5	4	5	4	4	5	5	4	6	5	5	6
$\max Iv_x I$	7	9	7	3	56	11	10	4	16	8	13	6
$\max Iv_y I$	10	13	20	19	12	19	15	19	17	5	12	12
maxhoriz	10	13	21	19	56	19	17	19	18	8	13	12
σ_0	8	10	12	12	33	14	10	10	11	5	8	8

D'après les résultats, la moyenne des résidus maxima horizontaux est de 15 mm (en ignorant les résultats de la photo no 5, qui, de toute évidence sont des produits d'un mauvais redressement), ce qui est équivalent à l'échelle 1:20 au 3/4 du mm. L'ordre des résidus est très proche de la précision graphique pour l'échelle demandée.

Une première amelioration des résultats aurait pu se produire après un redressement plus attentif, comme cela s'est fait aux photos no 1 et 10.

Une seconde amelioration probable pourrait se produire par des prises de vues à plus grande échelle. La distortion de l'objectif est la la plus grande source d'erreurs affectant les résultats (les résidus).

Néanmoins, étant donné que les prises de vues sont effectuées à six metres de l'objet, une variation de l'éloignement de l'ordre de 1 metre (négative, pour avoir une plus grande échelle), traduite en variation négligeable mais positive de la distance principale, ne peut pratiquement pas donner

une augmentation de la distortion mesurée sur le plan du cliché. De cette façon le rapport d'échelle cliché/image redressée, est augmenté de 1/4 à 1/3 ce qui signifie que la distortion de l'objectif sur l'image redressée est multipliée par 3 au lieu de 4.

Une dernière amélioration probable est l'utilisation des pellicules et papiers photographiques stables.

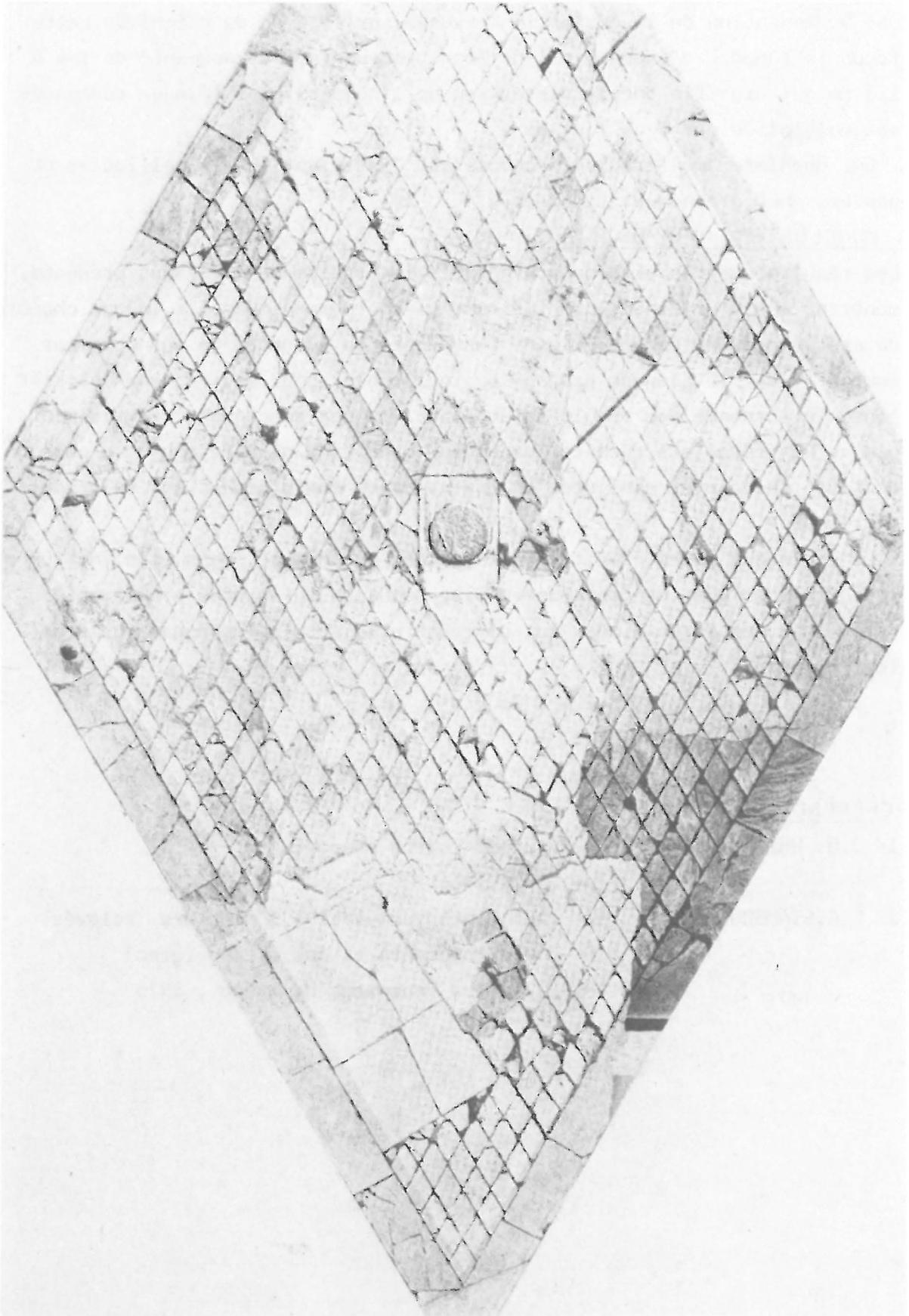
4. CONCLUSIONS-PROPOSITIONS

Les résultats cités ci-dessus, ayant été les fruits du processus présenté, montrent que l'utilisation d'instruments photographiques, i.e., d'une chambre de préférence du format 6 6 pour les prises de vue et d'un agrandisseur courant (avec le plan de projection inclinable), pour le redressement, est possible et donne des résultats acceptables pour des objets relativement plans. Les résultats d'un tel processus sont très satisfaisants et peuvent de toute façon être améliorés ou être ajustés conformément aux exigences du relevé.

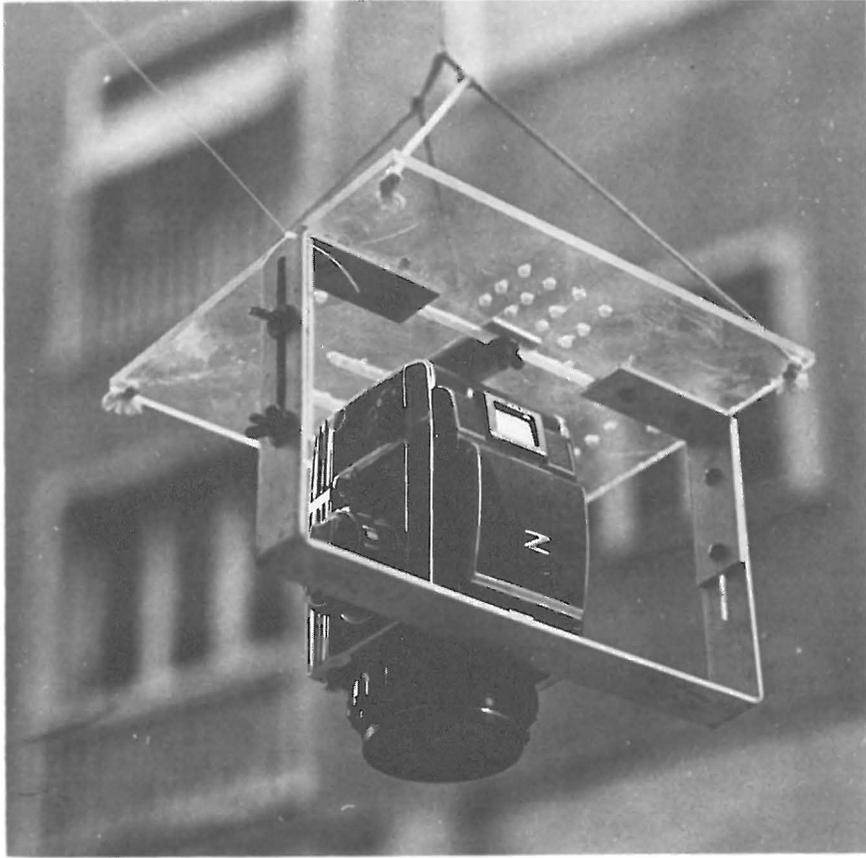
Le processus présenté évite, pour les cas des objets plans, les instruments Photogrammetriques, et donne une petite solution aux grands problèmes des relevés et une issue à ceux qui désirent utiliser la Photogrammetrie de toutes façons.

REFERENCES

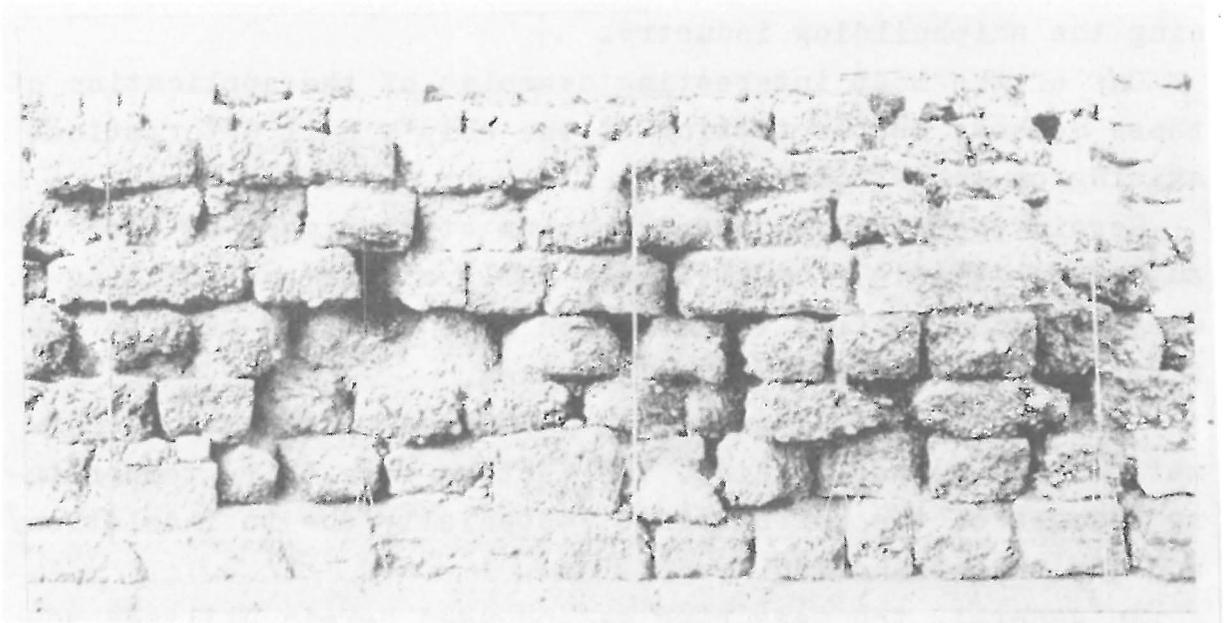
- | | |
|---------------------|---|
| 1/ J.H. WHITTLESEY | Bipod camera support
P.E.1966 |
| 2/ E.E.STAMBOULGLOU | La Photogrammetrie à l'aide des relevés
des Monuments et des Sites (grec)
Chambre Technique de Grèce , 1975 |



Photomosaique contrôlé de l'Orchestre de Dionysson



La chambre et son support.



Photomosaïque contrôllé du mur de soutien.