

Blog de Rostislav V. Lapshin

Comment les structures mégalithiques en maçonnerie polygonale du Pérou constituées de gros blocs de pierre aux surfaces courbes ajustées ont-elles été fabriquées ?

11 avril 2021

Rostislav V. Lapshin, Ph. D.

Institut des problèmes physiques, Zelenograd, Fédération de Russie

Institut Kurchatov, Moscou, Fédération de Russie

E-mail:rlapshin@gmail.com

L'article propose des méthodes qui permettent de créer le type de maçonnerie polygonale le plus compliqué trouvé au Pérou. Cette maçonnerie se compose de gros blocs de pierre pesant de plusieurs centaines de kilogrammes à plusieurs tonnes emboîtés les uns à côté des autres presque sans espace entre des surfaces courbes compliquées sur une grande surface. L'ouvrage décrit des techniques apparemment utilisées par des bâtisseurs venus d'Europe. Les techniques en discussion sont basées sur l'utilisation d'un modèle d'argile réduit, d'un pantographe 3D, d'un traducteur de topographie et de répliques. L'utilisation d'une réduction le modèle en argile et un pantographe offrent non seulement l'aspect unique et la haute qualité de la maçonnerie avec de gros blocs, mais permet également d'augmenter significativement la productivité des constructeurs. Comme les machines à faire face à l'échelle des objets tridimensionnels sont connues depuis le début du XVIIIe siècle, les structures en pierre considérées doivent être datées de cette époque et d'une époque ultérieure. Les autres types de maçonnerie polygonale plus simples avec des pierres plus petites ou des surfaces ajustées sont presque plates, ou les pierres sont en contact les unes avec les autres sur une petite surface, ou il y a des écarts importants entre les pierres, sont tout à fait compatibles avec les méthodes bien connues de traitement de la pierre de ceux et les années antérieures et, par conséquent, ils ne nécessitent aucune explication supplémentaire.

EST CE QUE JE:[10.20944/preprints202108.0087.v5](https://doi.org/10.20944/preprints202108.0087.v5)

Mots clés : bloc de pierre, maçonnerie polygonale, modèle en argile, pantographe, traducteur, réplique, ciseau, marteau, mégalithe, Inca, Cusco, Ollantaytambo, Machu Picchu, Sacsayhuaman, Pérou

Copyright © 2021 RV Lapshin, publié sous Creative Commons Attribution

[L'article en russe](#)

1. Introduction

La maçonnerie polygonale est un type de maçonnerie en pierre naturelle. Les pierres ayant une forme initialement arbitraire sont traitées de manière à former des polygones irréguliers étroitement adjacents les uns aux autres sur la face avant de la structure.¹ Il convient de noter que le nom «maçonnerie polygonale» est en grande partie conditionnel. Le fait est qu'il existe de nombreuses structures classées comme polygonales dans lesquelles les «polygones» de pierre ont des sections courbes en plus des sections linéaires. Une caractéristique de la maçonnerie polygonale est qu'elle ne nécessite pas de mortier de construction (maçonnerie sèche). La maçonnerie polygonale possède une résistance et une stabilité suffisantes pour résister à des tremblements de terre modérés.^{2,3,4,5}

Dans le présent article, une maçonnerie polygonale dans les structures mégalithiques situées sur le territoire du Pérou moderne est à l'étude. L'attention principale est accordée à la maçonnerie constituée de gros blocs de pierre pesant de plusieurs centaines de kilogrammes à plusieurs tonnes emboîtés les uns à côté des autres presque sans espace entre des surfaces courbes de grande surface. Les autres types plus simples de maçonnerie polygonale, lorsque les pierres sont petites ou que les surfaces de contact sont presque plates, ou que les pierres se touchent sur une petite surface, ou qu'il y a des écarts importants entre les pierres, correspondent tout à fait aux méthodes connues de longue date. du traitement de la pierre et, par conséquent, ne nécessitent aucune explication particulière.

Les principaux matériaux de construction de ces années étaient des rochers et des blocs de roche de forme aléatoire (arbitraire). En règle générale, ce matériau de construction n'avait pas besoin d'être extrait (cassé dans des carrières), car il se présentait partout sous la forme de dépôts de plusieurs mètres de débris de montagne formés au pied des montagnes comme un

résultat de chutes et de glissements de terrain. Dans la plupart des cas, ce matériau n'avait même pas besoin d'être transporté de n'importe où, car la construction avait généralement lieu aux endroits où le matériau était déjà en grande abondance. Si une structure mégalithique était située au sommet d'une montagne, le matériau de construction a été prélevé (cassé) ici sur le site. C'est pourquoi, par exemple, le sommet de la montagne, où se trouve le complexe de bâtiments du Machu Picchu, est coupé, et les sommets des montagnes voisines, où personne ne vit, sont tranchants.

En général, une maçonnerie polygonale n'est pas quelque chose d'inédit, une telle maçonnerie est utilisée en Europe depuis l'Antiquité.^{5,6} Dans la version péruvienne, seule la qualité des interfaces courbes est frappante, ce qui n'est pas facile à répéter même à notre époque. Les méthodes suggérées par la communauté scientifique et technique^{7,8,9,10,11} et les passionnés^{12,13,14,15} pour la fabrication de la maçonnerie polygonale péruvienne n'expliquent pas toutes les caractéristiques observées et sont souvent loin d'être une réalité.

Les méthodes de fabrication de maçonnerie polygonale proposées par l'auteur sont basées sur l'utilisation d'un modèle réduit d'argile, un pantographe 3D¹⁶ (voir Sections 2.1, 2.6, 2.8), traducteur de topographie (voir Section 2.10) et répliques⁷ (voir section 2.2). Les principaux outils pour le traitement de la pierre sont un marteau et un ciseau en acier (en pratique, un ensemble de ciseaux en acier de différents types). L'utilisation du modèle d'argile réduit et du pantographe offre non seulement l'aspect unique bien connu et la haute qualité de la maçonnerie de grands blocs, mais permet également d'augmenter considérablement la productivité des constructeurs. Ce n'est qu'en raison de la productivité élevée qu'il est devenu possible de réaliser les volumes de construction polygonale révélés au Pérou pendant un temps acceptable, en engageant une quantité raisonnable de main-d'œuvre.

Si nous examinons de près la forme des pierres dans la maçonnerie, aux sites de leur ajustement presque parfait, nous avons alors le sentiment que les pierres n'ont pas été traitées mécaniquement mais ont été sculptées. À cet égard, de nombreux chercheurs ont décidé à tort que les pierres avaient été sculptées ou coulées à partir d'un certain mélange plastique - granit artificiel, béton, chaux, roche ramollie par chauffage, etc.^{12,13,14,15} À cet égard, la question se pose immédiatement : pourquoi produire un mélange plastique coûteux alors qu'il y a beaucoup de matériau prêt à l'emploi autour - de la pierre naturelle de forme arbitraire ? Ce qui est encore plus flou, c'est : pourquoi un mélange plastique devrait-il avoir des formes aussi complexes ? Pourquoi ne pas fabriquer une gamme limitée de blocs de béton standard avec des éléments de verrouillage, par exemple ? Néanmoins, la sculpture a bien eu lieu lors de la construction polygonale, mais il s'agissait de la sculpture d'un modèle réduit du futur bloc de pierre en argile, et non de la sculpture du bloc de pierre lui-même. De plus, à l'aide d'un pantographe, la « sculpture » était simplement transférée sur un bloc de pierre avec l'agrandissement fixé dans le pantographe au moyen d'un marteau et d'un ciseau.

Il existe d'autres arguments contre la version en plastique. Par exemple, l'envers de nombreux blocs est une pierre en lambeaux ; il n'y a pas de mélange plastique coulé dans les espaces interblocs à l'intérieur de la maçonnerie ; les blocs de pierre ont des veinules et d'autres caractéristiques inhérentes à la pierre naturelle.¹⁷ Contrairement à l'argile, le béton,¹² la chaux et le granit artificiel ne conviennent pas au modelage manuel. Par conséquent, les blocs coulés à partir de ces matériaux auront des surfaces d'interface planes, ainsi que des faces avant et arrière planes, déterminées par les panneaux plats du coffrage utilisé. Ainsi, si, par exemple, des évidements lisses en forme de L ou de U sont présents dans la maçonnerie, alors, très probablement, cette maçonnerie n'a pas été fabriquée par la méthode de coulée généralement acceptée dans la construction (voir également la section 2.1.1).

Tout produit obtenu par moulage/sculpture¹⁵ rétrécit pendant le processus de séchage. Le retrait du béton moderne peut atteindre 3%, le retrait à la chaux est nettement supérieur. Le retrait de la coulée entraîne une diminution de la taille de la coulée, un gauchissement (déformation de la forme) et une fissuration. Ainsi, la présence de fissures peut être l'une des caractéristiques du moulage. La diminution de la taille de coulée induite par le retrait, à son tour, conduit à des espaces interblocs. La forme initiale des blocs dans la maçonnerie polygonale étant irrégulière, le retrait s'avère en outre non uniforme. En conséquence, les espaces résultant d'un tel retrait ne seront pas uniformes (non parallèles, voir la référence 13).

Ainsi, même si les blocs sont coulés séquentiellement les uns après les autres par site^{1,2,13} en attendant à chaque fois la fin du retrait, il n'est toujours pas possible d'éliminer complètement les interstices entre les blocs. Pour le bloc de béton sans armature avec des dimensions modestes de 50 × 50 cm (largeur × hauteur) ayant un coefficient de retrait moyen typique du béton moderne de 1,5%, l'écart entre les blocs fait 7,5 mm (!). Plus la taille des blocs est grande, plus la valeur de leur retrait est grande et, par conséquent, plus l'écart résultant est grand.

La figure 1 montre une vue approximative de la maçonnerie polygonale coulée de gros blocs étroitement accolés les uns aux autres.

Tout d'abord, les gros blocs sont coulés. Après la terminaison du retrait, la maçonnerie polygonale est assemblée à partir des grands blocs séquentiellement bloc par bloc (l'ordre d'installation des blocs est indiqué par des numéros sur la figure). Chaque bloc est installé de sorte qu'il bute étroitement sur un bloc adjacent précédemment installé par un certain côté. Au stade final, de petits espaces (compensatoires) entre les gros blocs sont remplis de béton (avant la coulée, une fine couche de matériau est enduite sur le béton durci pour empêcher l'adhérence du béton frais avec celui durci^{12,13}). A noter que la maçonnerie polygonale obtenue selon la technologie décrite peut ne pas être totalement démontable dans certains cas.

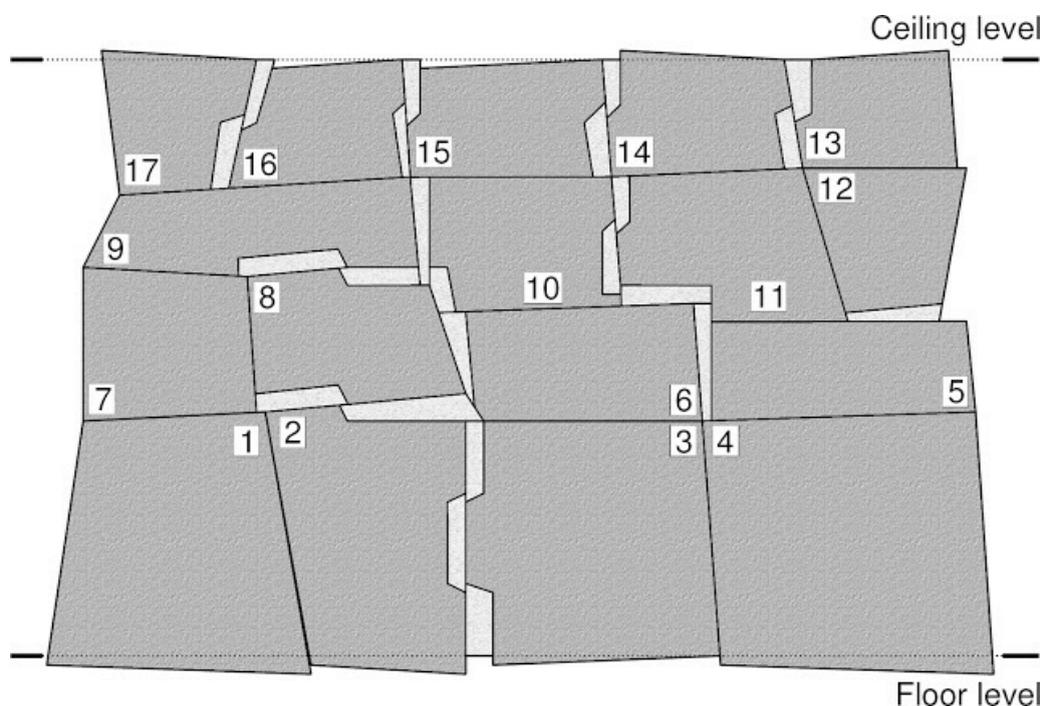


Fig. 1. L'apparence probable d'une maçonnerie polygonale moulée de gros blocs étroitement accolés les uns aux autres. Les petits blocs coulés au stade final sont destinés à combler les vides interbloqués provoqués par un retrait du béton dans les gros blocs. Les écarts de blocs par rapport aux niveaux du sol et du plafond dus à un rétrécissement sont exagérés pour plus de clarté. Les chiffres indiquent l'ordre d'installation des gros blocs.

Il ressort de la procédure présentée que les surfaces d'interface dans la maçonnerie polygonale obtenue par coulée doivent être planes et que la maçonnerie elle-même doit avoir un aspect plutôt spécifique (voir Fig. 1). Les grands blocs sans bordure dans une telle maçonnerie sont en contact avec les grands blocs voisins avec seulement deux de leurs côtés, les contacts des autres côtés se produisent à travers les petits blocs avec un petit retrait qui leur est propre. Les petits blocs sont conçus pour compenser les réductions de taille liées au retrait et les changements de forme des grands blocs. Seule cette approche permet de réduire au minimum (mais pas à zéro) les écarts entre les blocs de béton obtenus par coulée.

Plus un grand bloc de béton a de côtés, plus les inserts de compensation sont nécessaires, par conséquent, plus le coffrage utilisé est complexe. Puisqu'il n'y a pas de blocs triangulaires dans la maçonnerie polygonale péruvienne, la forme la plus simple du bloc dans ce cas est un quadrilatère conditionnel. Le quadrilatère conditionnel se produit si l'on ignore le changement de forme du grand bloc polygonal lié à l'inclusion des blocs de compensation dans son corps. Puisqu'une maçonnerie similaire à celle illustrée à la Fig. 1 n'a pas été trouvée au Pérou, les méthodes de coulage dans le coffrage n'ont pas été utilisées pour la fabrication des murs polygonaux à partir de gros blocs étroitement accolés les uns aux autres.

Outre le traitement mécanique des pierres au moyen d'un marteau et d'un ciseau en acier, l'approche proposée permet également de couler de grands blocs polygonaux dans un moule (voir section 2.1.1). Dans ce cas, la butée serrée des blocs de maçonnerie polygonaux est obtenue grâce à une grande précision de coulée. Selon cette technologie, les signes typiques de la coulée sont : un noyau plein/creux fait d'un matériau semblable à du béton bon marché et une coque relativement mince faite de granit artificiel plus cher.

Puisqu'au moment de la conquête de l'Amérique du Sud par les Européens, les Indiens ne connaissaient ni outils de fer, ni roue, et n'avaient pas d'animaux de trait, les constructions envisagées ne pouvaient être érigées que par des bâtisseurs venus d'Europe (voir section 2.15). Contrairement aux Indiens, ces bâtisseurs disposaient de tout le nécessaire

outils, mécanismes et compétences pour la construction à grande échelle. Les marques de cette construction en pierre à grande échelle sont visibles partout - cathédrales catholiques, monastères, palais, villas et de nombreux bâtiments urbains et industriels. Toute construction à grande échelle implique toujours l'existence d'une économie correspondant à cette échelle. Par conséquent, l'article explique en outre sur quoi reposait l'économie du Pérou au cours de ces années (voir la section 2.15). Comme les machines à faire face à l'échelle des objets tridimensionnels sont connues depuis le début du 18^{ème} siècle (voir section 2.14), les structures polygonales considérées doivent être datées à partir de cette époque.

2. Méthodes de fabrication de la maçonnerie polygonale

2.1. Transfert de forme de modèle en argile sur une billette en pierre au moyen d'un pantographe

Tout d'abord, conformément à un croquis, le modèle d'argile d'une structure est réalisé à une échelle réduite dont les blocs forment une maçonnerie polygonale. Supposons avec certitude que la structure n'est qu'un mur. De petits blocs polygonaux de la forme prévue sont sculptés dans l'argile. Les tailles de ces blocs correspondent aux tailles, disons, d'un ballon de basket ou autre. Les interfaces de surface sont formées en pressant les blocs les uns contre les autres. Pour réduire le retrait, un noyau solide de forme appropriée - une pierre ou un morceau d'argile sèche est placé à l'intérieur des blocs d'argile.

Le modèle du mur est assemblé à partir des blocs modèles bruts. Lors de l'assemblage, un certain matériau est déposé entre les blocs qui empêche les blocs de coller les uns aux autres pendant le processus de séchage-solidification. Pour réduire l'influence de l'effet de retrait, la couche de fond est d'abord séchée, puis la couche suivante, et ainsi de suite. Si nécessaire, le mur reçoit la pente requise (voir section 2.5). Au cours du processus de retrait par séchage, les blocs modèles sont mieux appariés sous leur propre poids et avec de petites corrections du constructeur. Si un écart résultant d'un retrait apparaît entre les blocs modèles, il est éliminé en plaçant des couches d'argile des épaisseurs correspondantes sur les blocs modèles à leur jonction.

Après solidification du mur du modèle, il est démonté. Maintenant, la « magie » a commencé. Les constructeurs européens médiévaux ont transféré la topographie de surface d'un petit bloc d'argile modèle à une grande billette de pierre de tailles et de formes appropriées avec une échelle spécifiée à l'aide d'un pantographe 3D,¹⁶ un marteau et un ciseau en acier.

Le pantographe est un simple dispositif à levier articulé basé sur un mécanisme à parallélogramme.¹⁸ Un pantographe 2D permet d'agrandir/réduire proportionnellement un dessin à plat.^{18,19} Étant une avancée logique du pantographe 2D, un pantographe 3D plus compliqué^{20,21} (voir Fig. 2) permet d'agrandir/réduire proportionnellement une figure de l'espace, par exemple une statue. Dans notre cas, en utilisant le pantographe 3D, la copie agrandie d'un petit modèle en argile du bloc est obtenue en traitant la billette de pierre avec un marteau et un ciseau.

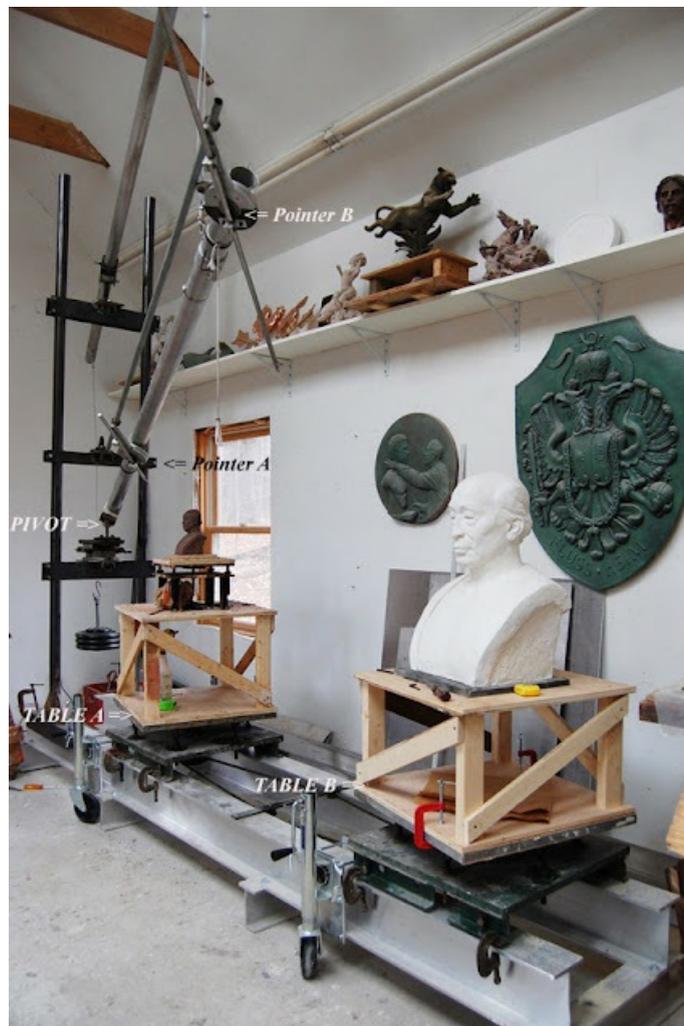


Fig. 2. Pantographe 3D moderne (M. Keropian, www.keropiansculpture.com).

Le mécanisme à parallélogramme est situé sur une flèche du pantographe 3D. La lisse est fixée au châssis à l'aide d'une rotule (Pivot sur Fig. 2). La flèche a un contrepoids. Une sonde pointue est fixée sur un bras du mécanisme de parallélogramme (pointeur A), de l'autre – un pointeur (une partie en fait similaire à la sonde ; pointeur B sur la Fig. 2). Si quelqu'un touche le modèle d'argile avec une sonde, le pointeur indiquera où se trouve le point de

la copie agrandie est située dans l'espace. Le coefficient d'agrandissement est défini par le réglage approprié des bras du système de levier. Le modèle et sa copie agrandie sont situés chacun sur leur plate-forme rotative (Table A et Table B, respectivement). Grâce à une transmission en chaîne, les plates-formes peuvent être tournées de manière synchrone autour de leurs axes verticaux, plaçant différents côtés d'un objet 3D (modèle/copie) sous la sonde/le pointeur.

Une taille minimale du bloc d'argile modèle dépend de la taille du bloc de pierre en cours de fabrication et, finalement, est déterminée par l'erreur du mécanisme du pantographe. La taille du bloc modèle est également déterminée par la commodité pour un ou deux ouvriers de manipuler (sculpter, corriger, transporter, installer, déplacer, tourner, etc.) un tel bloc. Les pantographes 3D modernes utilisés par les sculpteurs^{20,21}(voir Fig. 2) permettent d'agrandir le modèle d'objet jusqu'à 6 fois. Ainsi, par un modèle de bloc d'argile de taille, disons, 50 × 50 × 50 cm, qui peut être rendu creux pour réduire son poids et son retrait, les blocs de pierre jusqu'à 3 × 3 × 3 m peuvent être traités sur un pantographe pas très grand .

Il convient de noter qu'en installant une billette en pierre sur le pantographe, un modèle en argile du bloc adapté à cette billette peut être rapidement sélectionné. Cette caractéristique est extrêmement utile exactement dans le cas du type de maçonnerie polygonale, car dans une telle maçonnerie, les blocs initiaux ont souvent une forme compliquée qui nécessite de nombreuses mesures préliminaires lors de la sélection d'une billette.

Après le processus de copie mentionné avec l'échelle spécifiée, le mur de blocs de pierre est assemblé sans aucun ajustement à l'aide de rouleaux, de leviers, de blocs, de treuils et de grues primitives de l'époque.^{10,11}La face avant d'un bloc de pierre peut être copiée de la face avant d'un modèle en argile, mais elle peut être habillée ou affinée après l'assemblage de la structure polygonale.

Lorsqu'une maçonnerie polygonale est construite sur un sol renforcé nivelé, la première assise est formée de blocs de pierre pas gros à base plate, qui sont traités par les modèles d'argile correspondants. Les blocs de pierre du deuxième rang sont généralement sensiblement plus gros que les blocs du premier rang (voir les photos. 1-5, par exemple). Pourquoi donc? Pourquoi les gros blocs du deuxième rang ne sont-ils pas mis sur les blocs de taille égale ou même plus grande? Il devrait y avoir de bonnes raisons pour un tel agencement de maçonnerie. En effet, plus un gros bloc lourd est situé haut, plus son centre de gravité est haut, moins le mur est stable. De plus, la capacité portante des petites pierres est inférieure à celle des grosses pierres.



Photo. 1. Cuzco (VM Soroka, 2021).

A titre d'exemple, considérons le mur de la rue Hatunrumiyoc à Cusco (voir Photos. 1-5). Comme la rue a une pente, on pourrait penser que les petites pierres à la base des gros blocs du mur sont nécessaires pour rendre compte de cette pente. Cependant, il y a des sections de la maçonnerie polygonale dans ce mur, où un rang de pierres se divise en deux ou deux rangs se fondent en un seul. Par exemple, dans Photo. 1, en se déplaçant de gauche à droite, le

les deuxième et troisième cours fusionnent en un seul cours - le deuxième cours; et le quatrième cours se divise en deux cours - le troisième et le quatrième. Ainsi, on voit que la pente de la rue pourrait toujours être prise en compte en utilisant la technique de fusion/dédoublage des couches de maçonnerie.

En fait, tout est simple. Ce n'est qu'en ajoutant de la terre sous les blocs pas gros du premier rang et en plaçant de petites pierres comme cales sous eux, qu'il est possible de combler les vides latéraux entre les gros blocs de pierre du deuxième rang, c'est-à-dire de positionner correctement ces blocs par rapport à l'une et l'autre. À condition que la position relative des gros blocs soit correcte, le reste au-dessus des assises situées peut être posé avec des écarts minimes.

Cette particularité est une confirmation de plus que le mur de blocs polygonaux du type considéré n'a pas été construit assise sur assise avec pose des pierres par site, mais il a été fabriqué par un modèle d'argile réduit et ensuite il a été seulement assemblé. Lors de la construction rangée après rangée, la première assise de la maçonnerie serait toujours constituée des plus gros blocs de pierre, puisque selon cette approche, à la fois la surface de montage du bloc de pierre suivant et ce bloc de pierre lui-même sont successivement réalisés par chantier.



Photo. 2. Cuzco (VM Soroka, 2021).

Si la base des blocs de pierre pas gros du premier rang se démarque de l'esthétique générale d'une maçonnerie polygonale particulière, elle peut être masquée par une couche de terre (voir Photos. 5, 10). Le sol ajouté sera compacté et les petits coins de pierre insérés peuvent se fissurer et s'effriter sous le poids de la maçonnerie, puis la maçonnerie se séparera. Pour prévenir un tel événement, des pierres de calage solides sans défauts apparents doivent être utilisées et non pas à un mais à plusieurs endroits; le sol sous le bâtiment doit être bien compacté; après la pose des deux premières couches, les travaux sur ce site doivent être arrêtés et la maçonnerie doit être observée pendant un certain temps, etc.

Lorsqu'une maçonnerie polygonale est située sur un socle rocheux, le socle rocheux est pré-préparé. Par exemple, des évidements en forme de L ou de U sont fabriqués dans le substratum rocheux. Ensuite, pas de gros blocs du premier rang sont formés à partir d'argile sur la section préparée de la roche, qui sont creusés pour réduire leur poids et leur retrait. Après séchage, les blocs de taille normale sont retirés du socle rocheux et placés dans le pantographe à la place d'une billette de pierre (tableau B sur la figure 2). À l'aide du pantographe, des modèles réduits en argile sont fabriqués par les blocs d'argile grandeur nature du premier rang. Les modèles obtenus sont séchés.

Pour éviter d'endommager la surface inférieure des blocs modèles du premier rang, les blocs modèles sont placés dans des lits à fond plat en les pressant dans des barres d'argile crue. La position mutuelle correcte des blocs modèles du premier rang est déterminée par l'aboutement de ces blocs les uns aux autres le long des faces latérales. Pour réduire l'erreur de

la position relative, on doit viser à rendre les aires des faces latérales des blocs de premier rang comparables aux aires des bases de ces blocs. La position mutuelle correcte des blocs de première assise sur le site de construction du mur modèle est atteinte en ajoutant de la terre et en plaçant de petites pierres de calage sous les lits de ces blocs.



Photo. 3. Cusco (SN Kozintsev, photo.sirano.info).

La méthode proposée de transfert de géométrie d'un petit modèle d'argile à un grand bloc de pierre à l'aide d'un pantographe 3D ne nécessite pas le dessin détaillé de la géométrie du bloc. Le constructeur doit en fait sculpter approximativement le bloc lui-même et son interface avec les blocs voisins conformément à l'idée générale du croquis de ses propres mains (en appliquant des outils tels que des spatules, des lisseurs, des grattoirs, des boucles de fil, etc.); puis posez ce bloc dans le mur modèle, où il sera finalement adapté aux blocs modèles voisins sous son propre poids et avec de petites corrections du constructeur. Aucune dimension précise n'est nécessaire ici.

2.1.1. Fabrication des blocs polygonaux de maçonnerie par coulage

En utilisant la méthode proposée, il est également possible d'obtenir de gros blocs de béton, de chaux, de granit artificiel et d'autres matériaux en les coulant dans un moule. A l'aide du pantographe, le modèle d'argile réduit d'un bloc est agrandi à la taille souhaitée. Le modèle d'argile agrandi est creux pour réduire le poids et le rétrécissement. Ensuite, un moule est fabriqué par le modèle d'argile agrandi.

Le retrait ayant un effet significatif sur la valeur de l'écart interbloc, les blocs coulés peuvent être évidés pour le réduire. De plus, les blocs coulés peuvent être constitués de deux composants - un noyau (plein ou creux) de béton bon marché et une enveloppe extérieure relativement mince (couche de «plâtre») de granit artificiel plus coûteux. Tout d'abord, le noyau est coulé. Puis, après la fin du retrait, une coque assez fine est coulée sur le noyau. Le rétrécissement de la coque est insignifiant en raison de sa faible épaisseur.



Photo. 4. Cuzco (VM Soroka, 2021).

Les modèles d'argile agrandis pour le noyau creux/plein et pour l'enveloppe externe sont fabriqués par le même modèle d'argile réduit du bloc à l'aide d'un pantographe réglé sur le facteur d'agrandissement approprié. Pour augmenter l'adhérence de la coque au noyau, des rainures radiales sont créées sur les surfaces avant et latérales du modèle de noyau agrandi. Les rainures sont créées soit directement par l'aiguille du pantographe (aiguille B), soit par une boucle de fil fixée à l'aiguille. Malgré des exfoliations sur les blocs de granit de certaines structures péruviennes qui sont similaires à la coquille extérieure décrite (voir Photos. 1-3, 5 et 15), les épaisseurs de ces exfoliations sont faibles et donc ces exfoliations devraient plutôt être attribuées aux résultats de destruction de la pierre naturelle ou restauration/conservation infructueuse.

Bien que la méthode de coulée proposée soit capable de fournir la fabrication de la maçonnerie polygonale à partir de gros blocs étroitement accolés, en comparaison avec la méthode de traitement mécanique, elle est beaucoup plus laborieuse. Le fait est qu'en plus du modèle réduit, cette méthode de coulée nécessite la fabrication supplémentaire de deux autres modèles grandeur nature en argile du bloc au moins, suivie de la fabrication de deux moules par ces modèles - l'un pour le noyau en béton, l'autre pour la coque. de granit artificiel.

La méthode peut être simplifiée et rendue moins chère en utilisant comme noyau une pierre naturelle grossièrement traitée mécaniquement, dont la forme répète approximativement la forme du produit final à une échelle réduite. Cependant, dans ce cas, la coque aura certainement une épaisseur plus importante qui, à son tour, provoquerait un espace lié au retrait

augmenter. De plus, les écarts résultants seront irréguliers en raison de l'épaisseur variable de la coque. Le bloc de pierre requis servant de noyau peut être fabriqué soit simplement par des dimensions de base, soit par le modèle d'argile réduit à l'aide du pantographe. Dans la méthode considérée, l'arrière du bloc coulé peut ne pas avoir de couche extérieure du tout puisque dans la plupart des bâtiments, il n'est pas nécessaire de combler un espace entre les blocs ou de prendre soin de l'apparence du produit à cet endroit.



Photo. 5. Cuzco (VM Soroka, 2021).

Étant donné que les blocs de pierre dans une maçonnerie polygonale subissent une charge de plusieurs tonnes à plusieurs dizaines de tonnes, dans certaines circonstances, par exemple lors de secousses provoquées par un tremblement de terre, la destruction de la coque extérieure dure mais fragile de granit artificiel peut se produire. Les caractéristiques énumérées montrent que bien que la méthode de coulée présentée soit capable de fournir le résultat souhaité (petits espaces), elle est trop complexe et coûteuse à des fins de construction, et elle ne garantit pas la durabilité nécessaire de la structure dans la région sujette aux tremblements de terre.

2.2. Utilisation de répliques

Des interfaces peu compliquées entre de grands blocs sont fabriquées à l'aide de répliques. Une "crêpe" d'une épaisseur constante est pressée/roulée hors de l'argile. La crêpe crue est posée sur un bloc de pierre dont la réplique de surface doit être réalisée. Après solidification, la réplique-crêpe est décollée. En appliquant périodiquement la réplique-crêpe de faible poids obtenue sur un bloc de pierre d'accouplement lourd, le matériau en excès est progressivement éliminé dans les zones nécessaires jusqu'à l'ajustement complet de la réplique sur le bloc.

Si une plus grande précision du transfert de relief est requise que ce que la réplique-galette est capable de fournir, alors une réplique de la réplique est produite. Tout d'abord, en appliquant une barre d'argile brute sur la zone sélectionnée du bloc de pierre, une empreinte de sa surface est réalisée. Après solidification, une autre empreinte est réalisée dans l'argile crue par la réplique obtenue. Après séchage, la réplique de la réplique est ensuite utilisée comme copie de la surface du bloc de pierre lors de la fabrication de la partie d'accouplement de la maçonnerie en pierre.



Photo. 6. Ollantaytambo (C. Jansen, M. Düerkop, 2016, www.travel-badger.com).

Dans une autre méthode, un rebord en argile est installé le long du périmètre de la zone sélectionnée du bloc de pierre, après quoi le récipient résultant est rempli de gypse. Après solidification, la réplique obtenue est imprimée dans une argile crue ou, après avoir installé un rebord, on remplit le récipient résultant de gypse (la surface du moule en gypse est prérecouverte d'une substance empêchant le collage du gypse coulé au moule en gypse). Après séchage, la réplique résultante de la réplique est ensuite utilisée comme copie de la surface du bloc de pierre lors de la fabrication de la partie d'accouplement de la maçonnerie en pierre.

Les répliques étaient également utilisées dans les sites où les structures en pierre de gros blocs étaient accolées à des rochers. La réplique a été extraite d'une section de roche pré-préparée, puis appliquée sur le bloc de pierre de traitement ou, inversement, la réplique a été extraite d'un bloc de pierre traité, puis appliquée sur la roche de traitement. Tout dépendait de ce qui était le plus pratique dans chaque cas particulier. Étant donné que les très gros blocs de pierre sont comme des rochers - ils sont extrêmement difficiles à déplacer, les répliques ont également été utilisées pour joindre de gros blocs à de très gros blocs et de très gros blocs à d'autres très gros blocs.

Plus la taille d'un bloc de pierre est grande, plus les répliques fabriquées par celui-ci sont grandes et lourdes. Par conséquent, à partir d'une certaine taille du bloc de pierre, des répliques doivent être prises à partir de sections du bloc de pierre. Pour assurer la position mutuelle correcte des répliques sur la surface de contact traitée du bloc/rocher, les sections des répliques voisines doivent se chevaucher partiellement. L'inconvénient des répliques est une erreur d'interface plus élevée des surfaces des blocs adjacents par rapport au pantographe et une pénibilité de fabrication plus élevée par rapport au modèle réduit du bloc.



Photo. 7. Ollantaytambo (B. Everett, www.facebook.com/barry.everett.3).

L'avantage de la réplique est qu'une seule des surfaces de contact des blocs adjacents est traitée sur un modèle (réplique) ; la surface d'origine est traitée arbitrairement (indépendamment). Contrairement à la réplique, il est nécessaire de traiter les deux surfaces de contact selon le modèle dans la méthode du pantographe. Il n'y a pas de surfaces traitées arbitrairement dans la méthode du pantographe.

2.3. Le problème principal

Que doit faire un tailleur de pierre en continu tout en fabriquant des blocs emboîtés les uns aux autres par un profil compliqué ? Le tailleur de pierre doit appliquer à plusieurs reprises une pierre sur une autre afin de déterminer les zones où l'excédent de matériau doit être enlevé. Lorsque les pierres sont petites, c'est facile à faire. Mais comment faire lorsque le poids des pierres est de plusieurs centaines de kilogrammes ou de plusieurs tonnes ? Les méthodes proposées permettent simplement de résoudre ce problème. Il n'est plus nécessaire de déplacer à plusieurs reprises un bloc correspondant lourd.

2.4. À quoi d'autre un modèle en argile de l'objet est-il nécessaire ?

C'est toujours extrêmement utile :

- avoir un petit modèle d'un objet composé de nombreuses parties d'une forme compliquée reliées les unes aux autres de manière compliquée ;
- tourner chaque bloc dans les mains;
- évaluer plus précisément les proportions;
- corriger les blocs si quelque chose n'est pas sympathique dans leur forme ou leur ajustement ;
- monter/démonter le mur modèle pour vérifier la possibilité fondamentale d'assembler un objet contenant des éléments clés ;
- monter/démonter le mur modèle pour analyser les opérations de déplacement, de montage et d'installation de lourds blocs de pierre ;

- pour voir à l'avance à quoi ressemblera l'objet après l'achèvement de la construction.

Après tout, à cette époque, les architectes et les constructeurs n'avaient pas d'ordinateurs pour faire pivoter un composant dans un espace tridimensionnel sur un écran de contrôle ou, créant une réalité virtuelle, se promener dans la future construction bien avant son érection. Même à notre époque, la réalisation de maquettes en architecture et en urbanisme n'a pas perdu de sa pertinence.



Photo. 8. Ollantaytambo (C. Boudou, 2013).

Il est bien connu que la région, où la maçonnerie polygonale a été utilisée, est sujette aux tremblements de terre^{2,3,4,5}Par conséquent, en créant un modèle du bâtiment avec des blocs de verrouillage et en le secouant, on pourrait voir comment l'objet se comporterait lors d'un tremblement de terre, puis, si nécessaire, apporter les corrections appropriées au projet. D'autres méthodes n'existaient pas simplement à cette époque, les calculs étaient approximatifs et l'intuition et l'expérience pouvaient échouer.

Comme indiqué ci-dessus, les moulages en béton et les modèles en argile ont un retrait. Par conséquent, dans les deux cas, des vides causés par le retrait doivent apparaître entre les blocs de la maçonnerie polygonale. Alors quel est l'avantage du modèle d'argile ? Le fait est que si les lacunes causées par le retrait se produisent dans le modèle d'argile du mur, ces lacunes peuvent toujours être réparées en mettant une fine couche d'argile sur les blocs de modèle d'argile si nécessaire. Dans ce cas, toutes les exigences liées à la résistance et à la durabilité des couches d'argile ajoutées ne sont tout simplement pas applicables, car le modèle en argile n'est qu'un élément auxiliaire du processus de construction ne subissant pas de lourdes charges, qui est jeté après une courte utilisation.

Mais il est inutile de recouvrir un coulage en béton d'une fine couche de béton de plusieurs millimètres d'épaisseur, car la force d'adhérence de cette couche avec le coulage est faible et cette couche va très vite tomber ou s'effondrer sous l'effet du poids et/ou des conditions climatiques. Une couche plus épaisse peut être appliquée sur la coulée de béton couvrant toute la surface de coulée plutôt qu'une région séparée (voir Section 2.1.1). Cette couche adhère mieux, mais la technologie de construction pour une telle formation de couche est trop compliquée et coûteuse.

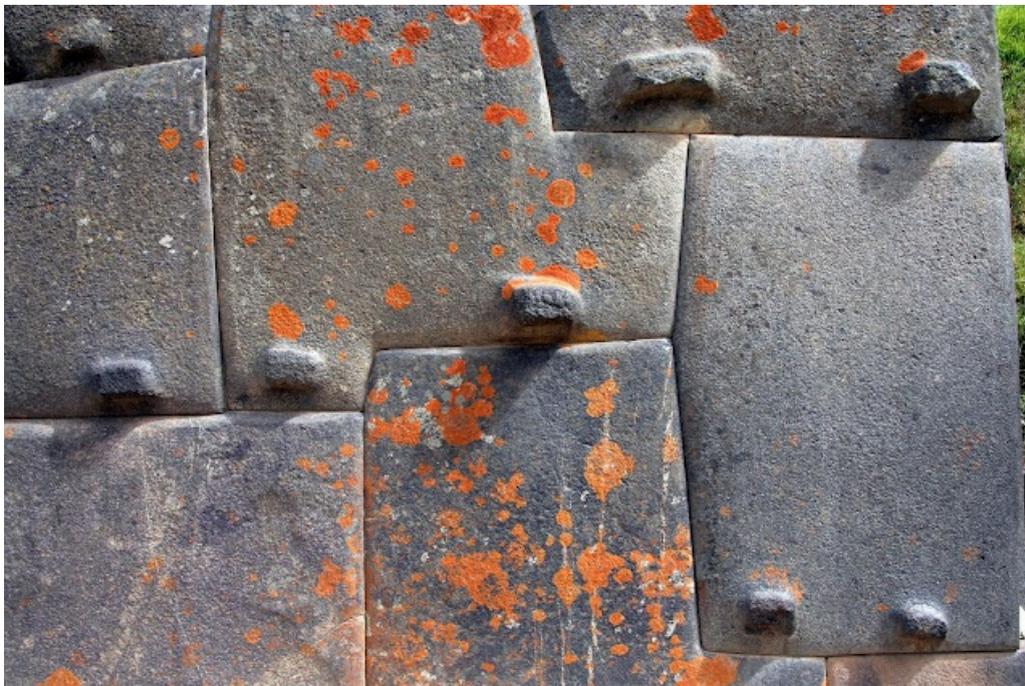


Photo. 9. Ollantaytambo (B. Foerster, 2009, hiddenincatours.com).

Ainsi, les signes d'une construction récente et/ou d'une restauration infructueuse (Forteresse Sacsayhuaman, Tarawasi) sont : des fissures dans les blocs, des traces d'application de mortier de béton, une structure en couches de blocs désagrégés (formés en raison de l'accumulation couche par couche d'un corps en "pierre" pour éliminer les vides causés par le retrait), grands vides entre les blocs et non-parallélisme de ces vides, effondrement de la maçonnerie polygonale.

Sur les faces supérieures d'un certain nombre de blocs de pierre démantelés à Ollantaytambo, des évidements caractéristiques en forme de L et de U pour les bases des blocs installés par-dessus attirent l'attention.^{8,9}Certains de ces évidements s'étendent sur deux voire trois blocs adjacents assurant ainsi la liaison des blocs. Les évidements assurent conformément aux principes d'équilibre stable que les blocs reviendraient à leur position initiale en cas de petit déplacement horizontal (le long du mur) provoqué par un tremblement de terre. Les évidements considérés dans les faces supérieures des blocs et les parties saillantes correspondantes sur les faces inférieures des blocs posés dessus sont fabriqués lors de la sculpture du modèle en argile.



Photo. 10. Temple des dix niches, Ollantaytambo (P. Adams, 2012, manboyinthepromisedlanddotcom.wordpress.com).

Étant donné que le modèle en argile du mur se construit de bas en haut et sèche couche après couche, alors, en théorie, les dépressions peu profondes devraient se produire naturellement dans les bases des blocs modèles, qui, étant plus mous (humides), pèsent sur les plus durs. blocs (secs) situés sous eux. Les matériaux disponibles à ce jour ne permettent pas de confirmer ou d'infirmier avec certitude la présence de telles dépressions.

2.5. Quels sont les avantages d'un pantographe par rapport à une réplique ?

Lorsque nous appliquons une réplique sur une surface de traitement étendue avec une topographie compliquée, nous ne voyons pas clairement où et combien de matière doit être enlevée. Par conséquent, lorsque nous travaillons avec une réplique, nous devons la marquer avec quelque chose, par exemple de la craie ou du charbon de bois, et, tout en l'appliquant sur la surface de traitement, la frotter légèrement pour marquer les endroits où le matériau doit être retiré. Rappelez-vous ce que fait le dentiste après avoir rempli la dent. Il met un morceau de papier carbone sur le remplissage et demande de fermer la bouche et de le frotter légèrement avec les dents. Après cela, le dentiste enlève un peu de matériau d'obturation à l'endroit marqué. Ensuite, il répète le processus plusieurs fois, jusqu'à ce que les dents lors de la fermeture prennent la position habituelle.

En travaillant avec un pantographe, une sonde pointue (pointeur A) est appliquée sur le modèle en argile et un pointeur (pointeur B) relié mécaniquement à la sonde au moyen d'un mécanisme de parallélogramme est appliqué sur la surface de traitement de la billette. Contrairement à la réplique, en raison de la petite surface de la sonde et du pointeur, la mesure de la topographie est en fait effectuée en un point de la surface, et on voit clairement à quel point exact ; toute la surface est complètement ouverte.



Photo. 11. Temple des dix niches, Ollantaytambo (A. Fuchs, 2008, syakka.de/wordpress).

De plus, le pantographe permet de déterminer clairement l'épaisseur du matériau à enlever en tout point vers lequel le pointeur est dirigé. Par conséquent, le matériau en excès peut être retiré pour beaucoup moins de tentatives. Tout cela entraîne une augmentation brutale de la productivité. La productivité la plus élevée est atteinte lorsque deux personnes travaillent sur un pantographe. Une personne avec un pointeur de pantographe montre un emplacement (point) sur la billette de pierre et signale l'épaisseur du matériau qui doit être enlevé à ce stade, et l'autre personne avec un marteau et un ciseau enlève la quantité spécifiée de matériau.

Un autre avantage du pantographe par rapport à la réplique est qu'il est beaucoup plus rapide et facile de toucher le modèle d'argile du bloc avec la sonde presque en apesanteur (l'appareil est équilibré par un contrepoids) que d'appliquer une réplique relativement lourde sur une pierre billette, puis en plus frotter légèrement avec cette réplique par la billette.

De plus, le pantographe permet de garder facilement les proportions fixées par l'architecte, qui, dans le cas des répliques, doivent être faites à l'œil en passant beaucoup de temps à sélectionner des billettes de taille appropriée. Imaginez que vous deviez adapter avec précision une structure à des dimensions immuables ou difficiles à modifier, par exemple entre deux affleurements rocheux ou dans une grotte. Pour ce faire, il suffit de mesurer la distance entre les affleurements rocheux, la taille du modèle, de diviser d'abord par seconde et de définir le facteur d'agrandissement obtenu dans le pantographe.



Photo. 12. Ollantaytambo (B. Everett, www.facebook.com/barry.everett.3).

Qu'est-ce que l'utilisation des blocs de modèle en argile et du pantographe apporte d'autre ? Laissez le côté extérieur du mur doit être fait avec une pente. Pour ce faire, il suffit de poser un modèle en terre crue du mur sur la face arrière, d'installer les butées qui fixent la pente requise, de mettre une surface plane sur la face avant, d'allouer des poids appropriés au-dessus. Au lieu des poids, des pinces de serrage peuvent être utilisées. Après un certain temps, le modèle en argile du mur se déformera correctement. Dans cette méthode, l'angle spécifié peut être maintenu très précisément sur toute la longueur du mur.

2.6. Approche inverse : création d'un modèle d'argile par une billette de pierre, fabrication d'une surface d'interface et son transfert sur la billette de pierre

Selon la méthode décrite ci-dessus, un modèle a d'abord été créé par un croquis, puis une billette de pierre a été sélectionnée pour chaque bloc du modèle. Cette approche permet de répéter plusieurs fois une section du mur (si nécessaire, à différentes échelles) en utilisant à chaque fois le même modèle en argile (voir un exemple possible d'une telle maçonnerie dans la Réf. 22). L'inconvénient de la méthode est le grand volume de matériau ébréché de la billette de pierre. L'analyse montre qu'une méthode inverse a été principalement utilisée pour la maçonnerie polygonale.

Dans la méthode inverse, d'abord, un modèle d'argile réduit est créé par une billette de pierre de forme arbitraire à l'aide du pantographe. Pour ce faire, un morceau d'argile crue est empalé sur une broche métallique pointue, disons à trois/quatre côtés, située au centre de la plate-forme rotative destinée à un modèle (tableau A sur la figure 2). Grâce à cette goupille, le modèle peut être retiré du pantographe à tout moment et remis avec précision dans sa position d'origine.



Photo. 13. Ollantaytambo (I. Otkalo, 2015, peru-info.me).

De l'argile est ajoutée aux endroits du modèle où cela ne suffit pas. L'élimination de l'excès d'argile est effectuée directement avec le pointeur métallique (pointeur A sur la Fig. 2 ; au lieu d'une pointe, un outil approprié peut être attaché au pointeur, par exemple une boucle de fil, un couteau, un grattoir, etc.) de la pantographe, dont la sonde (pointeur B) se déplace le long de la surface du bloc de pierre verticalement vers le haut, puis un petit tour de la plate-forme avec la billette (tableau B) autour de l'axe vertical, puis vers le bas, encore un petit tour, encore une fois vers le haut, etc.²⁰Grâce au pantographe, la création du corps du modèle en argile ne prend pas beaucoup de temps.

À l'étape suivante, un prototype du mur est assemblé à partir des blocs modèles d'argile obtenus. Les blocs n'ont toujours pas de surfaces de montage spécialement préparées. En tenant compte de la taille et de la forme des blocs, chaque emplacement de bloc est défini dans le prototype de mur. Un architecte-constructeur dessine approximativement les contours des futures interfaces sur le modèle en argile du mur, qui doit refléter: un style conçu, assurer la stabilité de la maçonnerie polygonale créée et minimiser le travail de traitement des surfaces de montage. Plus loin, selon la disposition acceptée, l'argile est découpée dans les régions de blocs modèles par lesquelles les blocs se juxtaposeront.

Ensuite, le modèle de mur est assemblé à partir des blocs modèles obtenus. Par de petites corrections, les blocs sont plus précisément adaptés les uns aux autres. Si le modèle de bloc a été occasionnellement endommagé lors des manipulations, la forme du modèle à n'importe quel endroit peut toujours être restaurée en remplaçant le modèle de bloc sur le pantographe (sur la broche indiquée ci-dessus) et en comparant avec la forme de la billette en pierre d'origine. . Ensuite, le mur est séché. D'abord, le cours inférieur est séché, puis le suivant, et ainsi de suite. Au cours du processus de retrait par séchage, les blocs modèles sont mieux appariés sous leur propre poids et avec de petites corrections du constructeur. Si un écart résultant d'un retrait apparaît entre les blocs modèles, il est éliminé en plaçant des couches d'argile des épaisseurs correspondantes sur les blocs modèles à leur jonction.

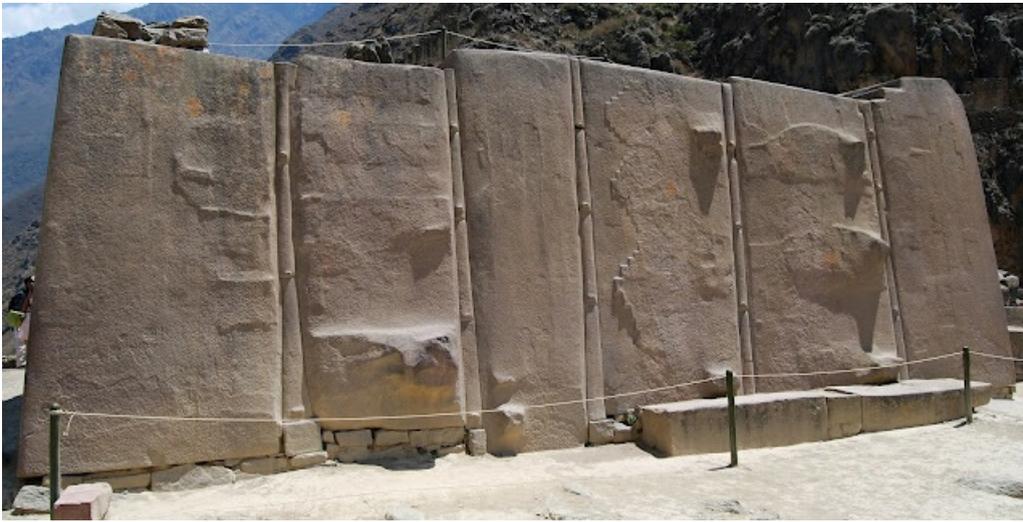


Photo. 14. Mur des six monolithes, Ollantaytambo (P. Špindler, 2008, commons.wikimedia.org).

Au stade final, le mur modèle est en cours de démontage. Le modèle en terre du bloc est replacé sur le pantographe (sur l'épingle indiquée ci-dessus) et les emplacements de montage sont reportés sur la billette de pierre correspondant à ce bloc modèle à l'aide d'un marteau et d'un ciseau.

Dans la méthode décrite, le bloc de pierre est installé dans le pantographe au moins deux fois. Pour ramener avec précision le bloc de pierre à sa position initiale, deux lignes divergentes radialement du centre de la plate-forme (tableau B) peuvent être tracées sur la plate-forme. Lors de la première installation du bloc de pierre, des marques d'alignement sont appliquées à la surface de la pierre avec de la peinture aux endroits où les lignes sortent de sous le bloc.

2.7. Plusieurs autres avantages du pantographe

L'utilisation d'un modèle réduit en argile et d'un pantographe permet de fabriquer des blocs directement dans la carrière où les pierres sont extraites.^{8,9}En conséquence, les blocs de pierre finis sont transportés de la carrière au chantier de construction. Cette approche réduit considérablement le poids des blocs transportés et diminue le volume de l'ensemble du trafic de fret. De plus, une telle organisation exclut une grande quantité de débris de construction sur le chantier de construction, qui doit également être transporté quelque part après tout.

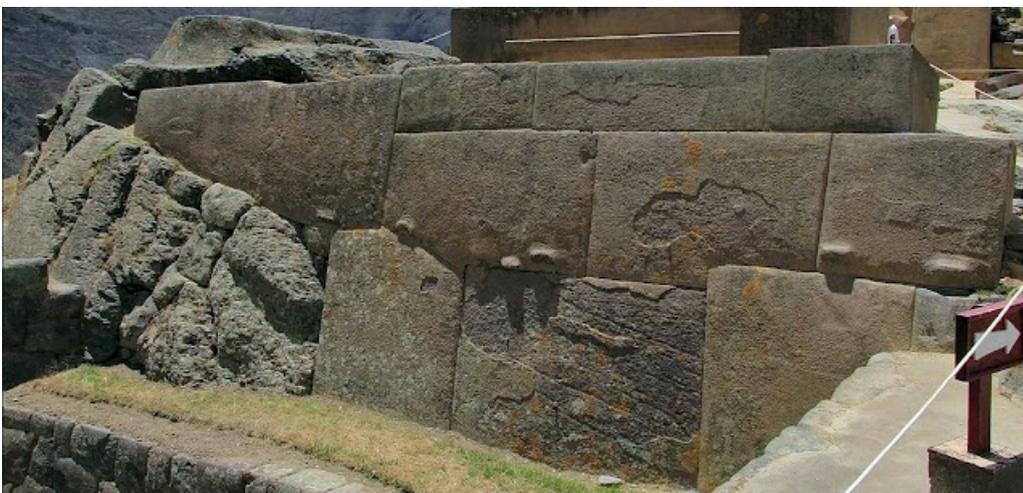
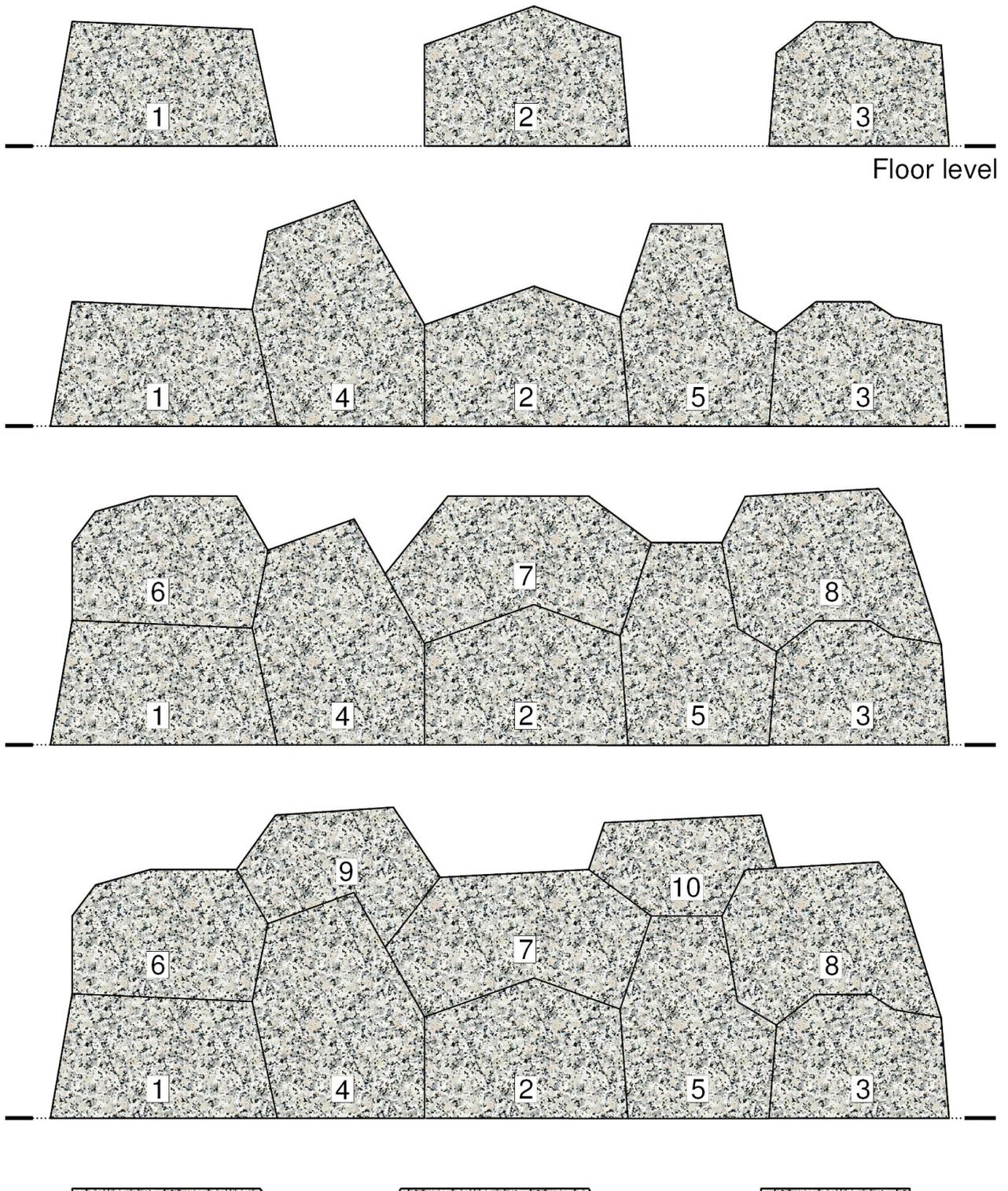


Photo. 15. Ollantaytambo (E. Berzin, 2020, allenatore.livejournal.com/15230.htm).

sont les blocs modèles d'argile ; dans la méthode des répliques, ce sont les répliques elles-mêmes. Pour assembler des blocs de pierre dans la méthode de réplique, la surface latérale du bloc doit être divisée en plusieurs sections qui se chevauchent, chacune nécessitant sa propre réplique. Si vous attachez mentalement à la surface latérale d'un bloc de pierre non tranchant toutes les répliques faites pour lui et par lui, vous obtiendrez une sorte de roue, c'est-à-dire une formation assez massive. Si une réplique de réplique est utilisée, il y aura déjà deux de ces "roues". Ainsi, il est nécessaire de fabriquer une « roue » de répliques pour chaque bloc non bord dans la méthode réplique de réplique. Comparons une telle « roue » de répliques avec de petits blocs modèles dans la méthode basée sur le pantographe. Les avantages du pantographe sont évidents.

2.8. Une méthode combinant des éléments de la réplique, du modèle en argile et de la 3D-méthodes de pantographe

Au début, un bloc de pierre sur deux du premier rang est installé sur le site de la future structure (voir Fig. 3). Les positions vides entre ces blocs seront occupées par des blocs de pierre, qui seront ajustés à ces blocs initialement installés à l'étape suivante à l'aide d'un modèle en terre et du pantographe. Les hauteurs des blocs de pierre installés entre les blocs initiaux doivent être d'environ deux fois les hauteurs des blocs initiaux. Les surfaces de base des blocs de pierre initialement installés sont prétraitées correctement pour assurer leur stabilité.



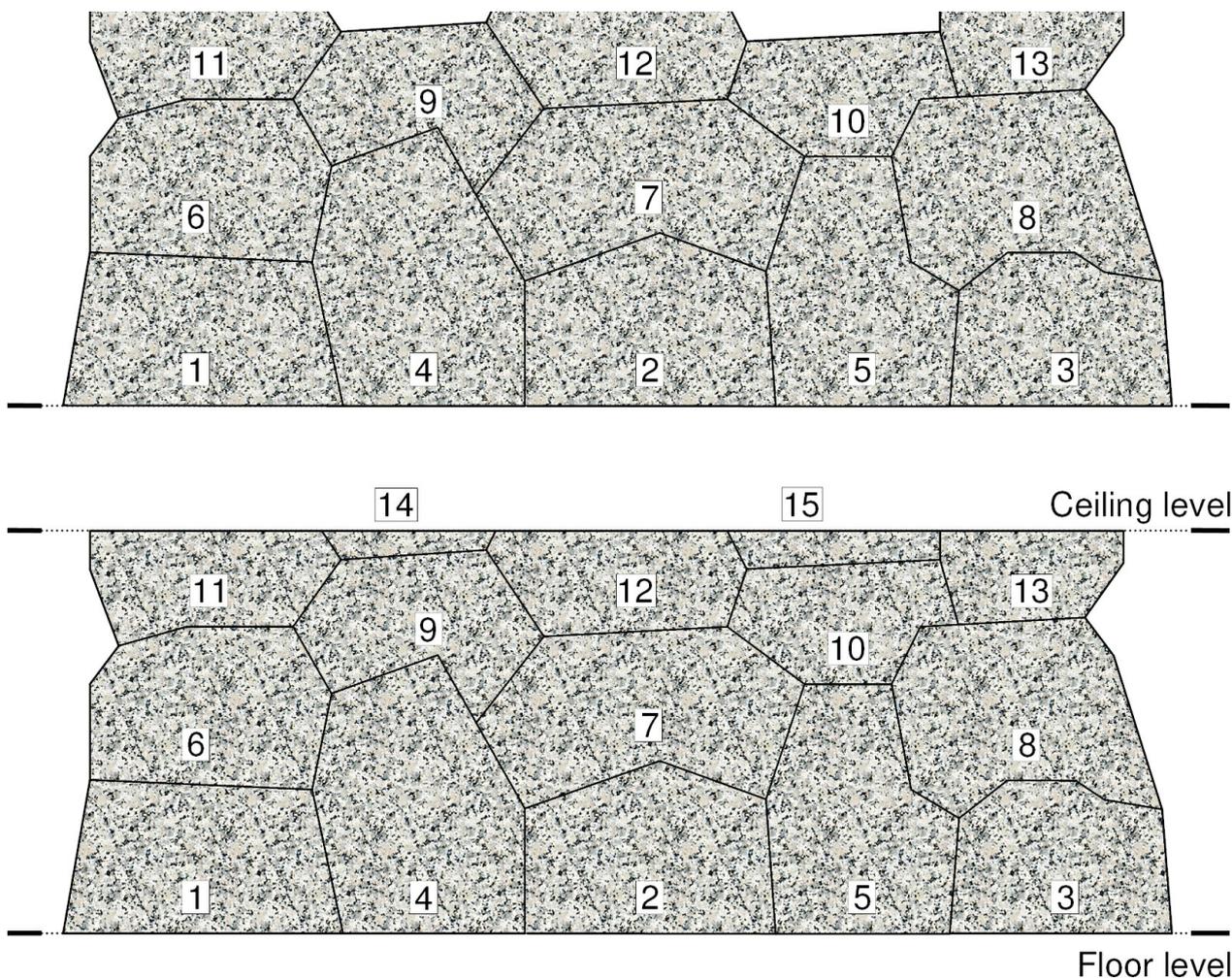


Fig. 3. Méthode de pose de blocs polygonaux combinant des éléments des méthodes de réplique, de modèle d'argile et de pantographe 3D. Les chiffres indiquent l'ordre d'installation des blocs.

Outre la base préparée, les blocs initialement installés ont également des faces latérales traitées. Le traitement des faces latérales est le redressement de la forme initiale compliquée de la billette de pierre par des surfaces proches des plans avec un marteau et un burin. Les pentes des faces latérales des blocs initialement installés jusqu'aux bases de ces blocs ne doivent pas excéder 90° , si possible, afin de faciliter l'installation ultérieure des blocs adjacents. La règle similaire est appliquée plus tard pour chaque deuxième bloc des rangées suivantes de la maçonnerie polygonale.

Ensuite, l'espace entre les blocs initialement installés est rempli d'argile. En fait, les modèles d'argile des blocs sont créés à l'échelle 1:1 dans les espaces entre les blocs initiaux. Les surfaces latérales de ces modèles en contact à gauche et à droite avec les surfaces latérales des blocs initiaux sont, en fait, leurs répliques. Pour diminuer le poids des modèles d'argile grandeur nature et réduire leurs déformations de retrait lors du séchage, les modèles sont rendus creux. Si un écart résultant d'un retrait apparaît entre le bloc de pierre initial et le modèle en argile, il est éliminé en plaçant une couche d'argile d'épaisseur correspondante sur le modèle en argile.

Après séchage, la maquette en argile du bloc est retirée de la structure et installée dans le pantographe à la place d'une maquette (tableau A). La billette de pierre correspondante est installée à la place d'une copie (tableau B). Le pantographe est ajusté à l'échelle 1:1 (à l'échelle donnée, le placement du modèle et la copie dans le pantographe ne sont déterminés que par la commodité d'utilisation). Si nécessaire, on peut vérifier rapidement l'adéquation de la billette de pierre sélectionnée au modèle avec le pantographe.

Ensuite, les surfaces d'interface sont transférées du modèle d'argile grandeur nature à la billette en pierre à l'aide du pantographe, du marteau et du ciseau, comme décrit ci-dessus. Après le transfert des surfaces d'interface, les faces restantes (arbitraires) de ce bloc sont formées sur la surface latérale restante de la billette de pierre. Le traitement de ces faces est le redressement de la forme initiale compliquée de la billette de pierre par des surfaces proches des plans. De plus, ces visages ne seront plus traités. Le bloc de pierre ainsi obtenu est finalement mis en place dans la maçonnerie polygonale.

Après avoir terminé le premier cours, le suivant est produit de la même manière. Comme dans les procédés ci-dessus, les blocs de pierre de forme arbitraire sont utilisés dans le procédé décrit. Le procédé permet une bonne liaison verticale des blocs. Étant donné que la méthode n'a pas de modèle d'argile à part entière de la structure, afin de bien assembler les blocs de pierre d'origine et de minimiser ainsi la quantité de matériau à ébrécher pendant le traitement, il est souhaitable de disposer préalablement les blocs de pierre sur le sol avec le dos vers le bas, l'un à côté de l'autre.

L'inconvénient de la méthode est la grande pénibilité associée à la fabrication du modèle en argile du bloc à l'échelle 1:1. Néanmoins, en comparaison avec la méthode de réplique de réplique, cette méthode est capable de fournir une précision beaucoup plus élevée de l'interface entre les surfaces en contact lorsque cela est nécessaire. Comme dans les cas de répliques, environ la moitié de la surface latérale des blocs de pierre est traitée arbitrairement dans cette méthode.

Le mur des six monolithes d'Ollantaytambo (voir photo. 14) composé d'une assise conditionnelle a très probablement été construit selon la méthode décrite. Il faut faire attention aux petites pierres sur lesquelles reposent les monolithes. Ces pierres assurent le comblement des vides latéraux entre les monolithes et les inserts verticaux étroits les plus bas (voir section 2.1). Apparemment, au stade final de la construction, les petites pierres à la base des monolithes étaient censées être cachées par un niveau de sol.

Laissant un instant de côté l'aspect architectural du monument, posons-nous la question : pourquoi les monolithes ne sont-ils pas reliés directement les uns aux autres, mais nécessitent des inserts intermédiaires ? Le fait est que l'utilisation de répliques sur de telles zones de contact étendues des surfaces latérales des monolithes est incapable de fournir un écart nul. Par conséquent, les inserts intermédiaires étaient nécessaires pour connecter les monolithes.

Pour souligner les dimensions gigantesques des monolithes, les inserts doivent différer considérablement des monolithes en largeur. Étant donné que la fabrication et l'installation d'un seul insert étroit monolithique haut est une tâche technique encore plus difficile que le montage direct des monolithes voisins, les inserts intermédiaires ont été divisés en 3 à 5 parties distinctes. Chaque insert a été fabriqué et installé séquentiellement l'un après l'autre - d'abord, une rangée (conditionnelle) des inserts les plus bas, puis la rangée suivante d'inserts, etc.

2.9. Pantographe "planétaire" pour la construction

Les pantographes modernes utilisés par les sculpteurs ont deux plates-formes tournant de manière synchrone. Un modèle est installé sur une plate-forme (voir tableau A sur la figure 2) et la copie agrandie du modèle est installée sur l'autre plate-forme (tableau B). Habituellement, la copie agrandie est creuse, de sorte que le poids de la copie n'est généralement pas élevé. La plate-forme d'un tel pantographe utilisé à des fins de construction est capable de supporter des billettes de pierre pesant jusqu'à 700 kg. Lorsqu'une sculpture est grande et lourde, son modèle peut être divisé en plusieurs parties. Une copie agrandie peut être fabriquée pour chacune de ces pièces; puis une grande sculpture est assemblée à partir des copies agrandies obtenues. Cependant, ce n'est pas notre cas.

Le pantographe moderne n'est pas adapté pour travailler avec des billettes grandes et lourdes. Au lieu de la conception existante, on peut proposer le pantographe "planétaire" suivant. La billette lourde dans un tel pantographe est simplement installée sur un site d'avion et le châssis, auquel la flèche du pantographe et la plate-forme avec le modèle sont attachées, tourne pendant le travail dans le plan horizontal autour de la billette debout stationnaire. Lorsque le cadre tourne, le modèle tourne également autour de son axe vertical à l'angle requis (en fait, conserve son orientation d'origine dans l'espace) à l'aide d'un mécanisme approprié. Un tour du point d'appui (Pivot sur la Fig. 2) de la flèche du pantographe autour de la billette correspond à un tour du modèle autour de son axe.

Contrairement au pantographe existant, le pantographe planétaire occupe plus d'espace et la personne utilisant le pantographe doit se déplacer tout en travaillant avec le cadre tournant autour de la billette. Ces caractéristiques peuvent être attribuées aux lacunes du pantographe planétaire, qui, cependant, ne sont pas du tout critiques dans le domaine de la construction.

2.10. Traducteur de topographie basé sur le mécanisme du double parallélogramme

On peut suggérer un dispositif mécanique simple - un traducteur de topographie (voir Fig. 4), qui, dans le cas d'une maçonnerie polygonale relativement simple, permet d'effectuer un assemblage tout à fait acceptable des surfaces de blocs de pierre adjacents "par site". Pour traiter en utilisant cet appareil, les deux blocs de pierre d'accouplement sont posés sur le sol

sur leur dos. Ainsi, la base, le côté supérieur et les côtés latéraux à traiter seraient disposés verticalement dans ce procédé.

Tout d'abord, la zone de contact de la surface du premier bloc est soumise à un traitement arbitraire. Pendant le traitement, la surface dans cette zone est amenée à changer en douceur, à proximité d'un plan. Une telle surface est obtenue lorsqu'un tailleur de pierre réalise une surface plane manuellement « à l'œil » en ne contrôlant aucune déviation de la surface traitée par rapport au plan.

Ensuite, près du premier bloc, un deuxième bloc de pierre est posé. Le deuxième bloc de pierre est situé de manière à ce que les surfaces à aménager soient en vis-à-vis. La distance entre les blocs est fixée de telle sorte (60-80 cm) qu'un tailleur de pierre pourrait se loger entre les blocs et serait capable de travailler avec un marteau et un ciseau dans l'espace entre ces blocs sans trop de peine. De plus, le traducteur de topographie proposé est installé entre les blocs comme une poussée à l'aide de laquelle le tailleur de pierre transfère la topographie inversée de la surface préalablement traitée du premier bloc au deuxième bloc.

En général, la surface latérale du bloc de pierre est un ensemble de ces surfaces conditionnellement planes. Les sections conditionnellement plates peuvent se rejoindre en formant une limite nette ou elles peuvent passer l'une dans l'autre en douceur à travers les évidements en forme de L. Les évidements en forme de U sont réduits à une paire d'évidements en forme de L opposés. Décrivons ci-dessous plus en détail la conception du traducteur et la séquence de traitement des blocs de pierre.

2.10.1. Conception du traducteur de topographie

Le traducteur de topographie se compose de deux tiges parallèles reliées l'une à l'autre au moyen d'un mécanisme à double parallélogramme (voir Fig. 4). Le mécanisme à double parallélogramme appartient aux mécanismes de guidage à levier articulé, possède deux degrés de liberté et se compose de sept biellettes ($AB=A'B'=BC=B'C'$, $AA'=BB'=CC'$).¹⁸ Dans le translateur considéré, les corps de tringle font partie du mécanisme à double parallélogramme. La tige de plus grande section sera appelée tige porteuse ; la tige de plus petite section sera dite de mesure. En raison de l'articulation télescopique ou autre, les longueurs des tiges peuvent être grossièrement modifiées en glissant vers l'intérieur et vers l'extérieur les sections de bord le long de la tige. Après la fin du réglage approximatif des longueurs de tige, les positions relatives des sections de bord sont fixées avec des broches.

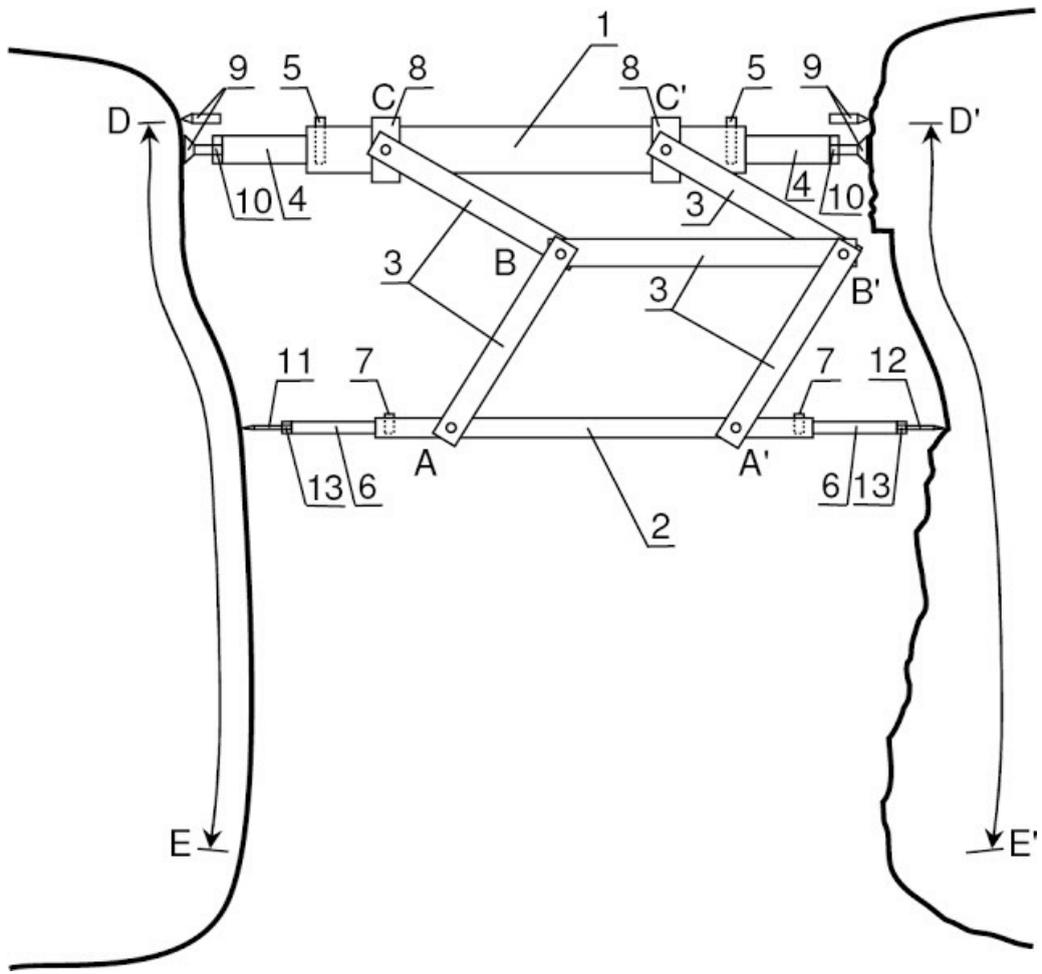


Fig. 4. Traducteur topographique : 1 est une tige porteuse ; 2 est une tige de mesure ; 3 est un mécanisme à double parallélogramme ($AB=A'B'=BC=B'C'$, $AA'=BB'=CC'$) ; 4 sont des tronçons escamotables pour réglage grossier de la longueur de la tige porteuse ; 5 sont des positions de verrouillage des goupilles des tronçons escamotables de la tige porteuse ; 6 sont des sections rétractables pour le réglage grossier de la longueur de la tige de mesure ; 7 sont des goupilles de verrouillage des positions des tronçons escamotables de la tige de mesure ; 8 sont des charnières cylindriques assurant la libre rotation de la tige de mesure avec le mécanisme à double parallélogramme autour de la tige porteuse ; 9 sont des supports (pointus ou à pied plat) de la tige porteuse dont le dévissage fixe la tige porteuse en butée entre deux blocs de pierre conjugués ; 10 sont des positions de fixation des contre-écrous des supports de la tige porteuse ; 11 est la sonde de la tige de mesure ; 12 est l'aiguille de la tige de mesure ; 13 sont les positions de fixation des contre-écrous de la sonde et de l'aiguille de la tige de mesure ; 14 sont des charnières cylindriques assurant la libre rotation de la tige de mesure autour de son propre axe ; DE est la section arbitrairement traitée de la surface latérale du bloc de pierre précédent ; D'E' est la section de la surface latérale du bloc de pierre en cours de traitement avec le traducteur. Installation de la tige porteuse comme une confiance entre les blocs (a) perpendiculairement aux surfaces de contact à l'aide de supports de pied plats, (b) à un angle par rapport aux surfaces de contact à l'aide de supports pointus. (b) Traducteur avec charnières supplémentaires, sonde courbée et pointe courbée pour travailler avec des évidements en forme de U. 13 sont les positions de fixation des contre-écrous de la sonde et de l'aiguille de la tige de mesure ; 14 sont des charnières cylindriques assurant la libre rotation de la tige de mesure autour de son propre axe ; DE est la section arbitrairement traitée de la surface latérale du bloc de pierre précédent ; D'E' est la section de la surface latérale du bloc de pierre en cours de traitement avec le traducteur. Installation de la tige porteuse comme une confiance entre les blocs (a) perpendiculairement aux surfaces de contact à l'aide de supports de pied plats, (b) à un angle par rapport aux surfaces de contact à l'aide de supports pointus. (b) Traducteur avec charnières supplémentaires, sonde courbée et pointe courbée pour travailler avec des évidements en forme de U. DE est la section arbitrairement traitée de la surface latérale du bloc de pierre précédent ; D'E' est la section de la surface latérale du bloc de pierre en cours de traitement avec le traducteur. Installation de la tige porteuse comme une confiance entre les blocs (a) perpendiculairement aux surfaces de contact à l'aide de supports de pied plats, (b) à un angle par rapport aux surfaces de contact à l'aide de supports pointus. (b) Traducteur avec charnières supplémentaires, sonde courbée et pointe courbée pour travailler avec des évidements en forme de U.

Des supports de pointe sont vissés dans les extrémités de la tige porteuse, ce qui en dévissant fixe solidement la tige de translation dans l'éclatement sur la zone traitée entre les blocs de pierre d'accouplement. Des pointes pointues sont vissées aux deux extrémités de la tige de mesure. La pointe pointue dirigée vers la surface prétraitée du premier bloc sera appelée sonde ; et la pointe pointue dirigée vers la surface de traitement du deuxième bloc sera appelée un pointeur. En vissant/dévissant les pointes filetées, la longueur de la tige de mesure est réglée avec précision. Les positions fixes des supports et des pointes pointues sont fixées avec des contre-écrous.

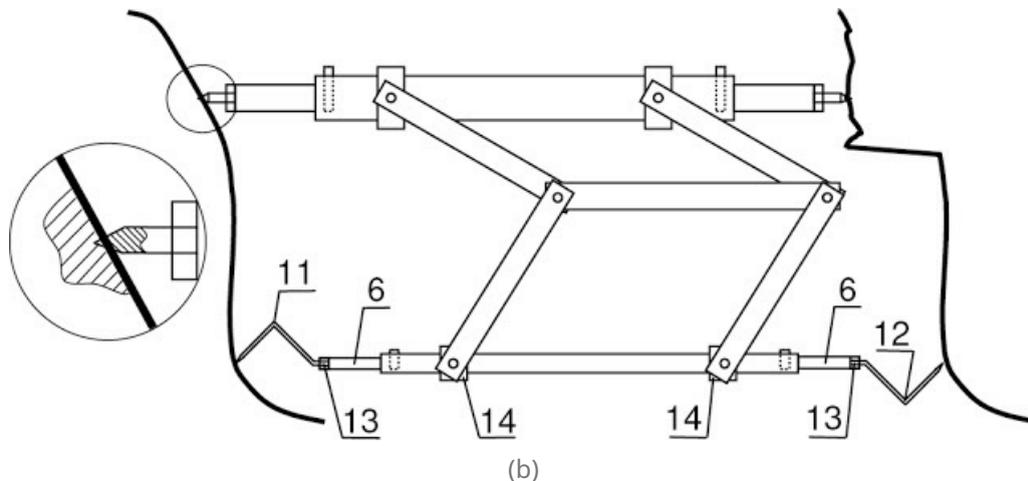


Fig. 4. Suite.

Si la tige porteuse est installée dans l'entretoise entre les blocs perpendiculairement aux surfaces de contact, des supports à pieds plats sont utilisés (voir Fig. 4a). Si la tige porteuse est installée dans l'entretoise avec une inclinaison importante par rapport aux surfaces de contact, les supports pointus sont utilisés (voir Fig. 4b). Dans ce dernier cas, avant d'installer la tige porteuse, de petits évidements sont pratiqués dans les pierres aux emplacements de l'installation des supports. Les évidements sont nécessaires pour empêcher le glissement des supports de la tige porteuse.

Etant donné que le translateur doit transmettre la topographie spatiale de la surface, et que le mécanisme à double parallélogramme n'a que deux degrés de liberté, le mécanisme à parallélogramme est fixé à la tige porteuse par l'intermédiaire des charnières cylindriques. Ainsi, grâce aux charnières cylindriques de la tige porteuse, la tige de mesure ainsi que le mécanisme à double parallélogramme peuvent tourner librement autour de la tige porteuse. Une telle rotation permet de « relever » la topographie au moyen de la canne de mesure autour de la position d'installation de la canne porteuse.

2.10.2. Aperçus des techniques de travail avec le traducteur de topographie

Si la tige de transport du translateur est installée près de l'endroit où la distance entre les blocs est la

la plus longue, la distance la plus longue est définie dans la mire par site, et le transfert de topographie commence à partir de cet emplacement. Généralement, la tige porteuse peut être installée à n'importe quel endroit pratique pour le tailleur de pierre. En pratique, il est souvent commode d'installer la tige porteuse plus près du bord du bloc et de commencer le transfert-inversion (translation) de la topographie à partir du bord du bloc.

Après avoir installé la tige de support et réglé la longueur nécessaire de la tige de mesure, la pointe de la sonde de la tige de mesure est appliquée sur la surface prétraitée du premier bloc de pierre (illustré sur la figure de gauche). En conséquence, la pointe de l'aiguille de la tige de mesure indiquera l'endroit sur la surface de contre-traitement du deuxième bloc (illustré sur la figure de droite), où le tailleur de pierre doit ébrécher le matériau. De plus, la pointe de l'aiguille de la tige de mesure indiquera l'épaisseur du matériau décheté à cet endroit. Le but principal du mécanisme à double parallélogramme est d'assurer un parallélisme strict du mouvement de la tige de mesure. Il ressort de la description ci-dessus que le traducteur considéré fournit sur une section d'accouplement séparée le même résultat que le pantographe 3D ajusté à l'échelle 1:1.

La précision du traducteur est déterminée par les écarts dans les charnières et par les déformations en flexion des éléments structurels du mécanisme. Pour assurer la rigidité de la structure, les barres et charnières utilisées dans les parallélogrammes ont les dimensions de section et les raidisseurs appropriés (non représentés sur la figure). Pour augmenter la rigidité de la structure, outre les mécanismes à parallélogramme mentionnés, des mécanismes à parallélogramme identiques supplémentaires peuvent être utilisés en les fixant à la fois en parallèle et en série (le long des tiges).

Le mécanisme de translation a un espace de mouvement limité, qui est un cylindre de rayon $2AB$ (l'axe du cylindre est la tige porteuse). Par conséquent, lorsque vous travaillez avec de grands blocs, il est impossible de traiter toute la surface de contact dans une seule installation du traducteur. De plus, du fait des dimensions finies des barres de parallélogramme, des charnières et des tringles elles-mêmes, la zone à proximité immédiate autour de l'emplacement d'installation de la tringle porteuse et à cet endroit même s'avère également non traitée (voir Fig. 4).

Ainsi, après traitement de la zone de la surface de contact accessible par la tige de mesure, la position de la tige de mesure est fixée au bord de la zone traitée dans l'entretoise en dévissant légèrement la sonde et/ou l'aiguille de la tige. Après cela, la tige porteuse est relâchée et transférée parallèlement à la tige de mesure fixée dans l'espace à une nouvelle position, où elle est à nouveau fixée dans l'entretoise. Enfin, la règle de mesure est détachée et les travaux se poursuivent sur une nouvelle zone du bloc de pierre adjacente à la précédente.

Afin de ne pas bouleverser la longueur prescrite de la tige de mesure et de ne pas émousser son palpeur et son aiguille en installant la tige de mesure dans l'entretoise, il est possible de déplacer la tige de mesure jusqu'au bord de la course du translateur avant de retirer la tige porteuse, et marquez avec une peinture l'endroit que la sonde touche et l'endroit que le pointeur regarde. Après cela, la tige porteuse peut être démontée, déplacée et installée avec ses supports sur les emplacements marqués par la peinture. Notez qu'en ayant un certain nombre de ces marques et en utilisant le traducteur comme outil d'inspection, il est possible de remettre avec précision les blocs de pierre dans leur position d'origine pour continuer le traitement, s'ils ont été déplacés pour une raison quelconque auparavant. La fixation nécessaire de la position du bloc dans l'espace est assurée par l'installation de pierres de calage entre l'arrière du bloc et le sol.

Le processus de transfert de topographie décrit ci-dessus montre que si l'on munit la tige porteuse des mêmes pointes pointues que la tige de mesure, et que l'on rend la tige de mesure aussi épaisse que celle qui porte, et que l'on munit également la tige de mesure des mêmes charnières cylindriques (pos.14 sur la figure 4(b)) comme la tige porteuse, alors nous obtenons une modification du traducteur de conception symétrique, où il n'y a pas de différence entre la tige porteuse et la tige de mesure. Un tel traducteur peut être plus pratique lors du déplacement sur la surface de la pierre en cours de traitement, cependant, il aura un pointeur de sonde plus lourd et moins pointu.

Ci-dessus, la conjugaison de deux blocs adjacents sur une section a été décrite. La section suivante montrera comment la maçonnerie polygonale dans son ensemble pourrait être créée à l'aide du traducteur proposé.

2.10.3. La séquence de traitement par le traducteur de blocs de pierre en maçonnerie polygonale

Tout d'abord, les blocs de pierre formant le premier rang de maçonnerie sont traités. Pour le premier bloc du premier rang, une pierre de forme arbitraire est prise (voir Fig. 5, pos. 1), dans laquelle les faces latérales (base, côté supérieur et côtés latéraux) sont formées (pos. 2). Le traitement des faces latérales est arbitraire - la surface latérale irrégulière d'origine de la pierre naturelle est remplacée par un ensemble de faces approximativement plates. Ensuite, ces visages ne seront plus traités.

Le bloc obtenu à la suite du traitement est mis sur le sol à l'envers. De plus, le traitement, l'ajustement et le contrôle de la qualité des interfaces entre les blocs adjacents seront effectués pour cette orientation des blocs.

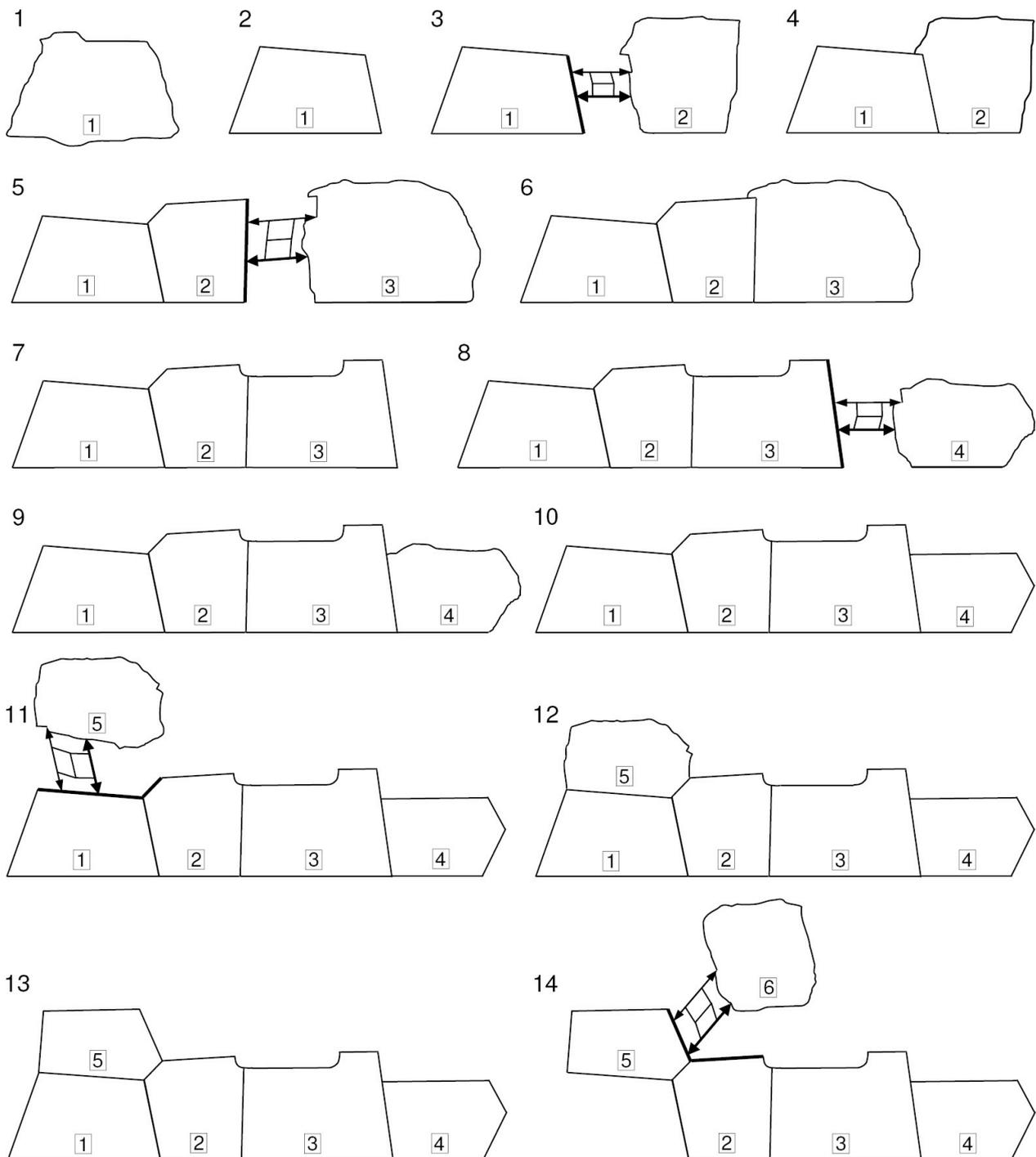


Fig. 5. La séquence de traitement des blocs de pierre à l'aide du traducteur de topographie. La maçonnerie polygonale est représentée par huit blocs posés en deux rangées de quatre blocs dans chaque rangée. Les zones utilisées pour l'accouplement sont indiquées par une ligne en gras. Les blocs de pierre reposent sur le sol sur leur dos. Le traducteur est présenté sous une forme simplifiée. Les déplacements de la tige porteuse sur la surface de traitement liés à l'épuisement du rayon d'action du translateur ne sont pas représentés. Pour traiter les évidements en forme de U, les pointes courbées sont vissées dans la tige de mesure au lieu des pointes droites.

Pour le deuxième bloc du premier rang, la pierre suivante de forme arbitraire est prise, dans laquelle une base est fabriquée. Ensuite, le bloc est situé à côté du premier bloc (pos. 3), le traducteur est installé entre les blocs et la topographie est transférée de la face latérale du premier bloc à la face latérale du deuxième bloc (la zone copiée est indiqué par une ligne en gras). Le traducteur de la figure 5 est représenté schématiquement. Pour éviter de surcharger le dessin de détails, les déplacements de la tige porteuse sur la zone traitée liés à l'épuisement de la plage de translation ne sont pas représentés ci-après.

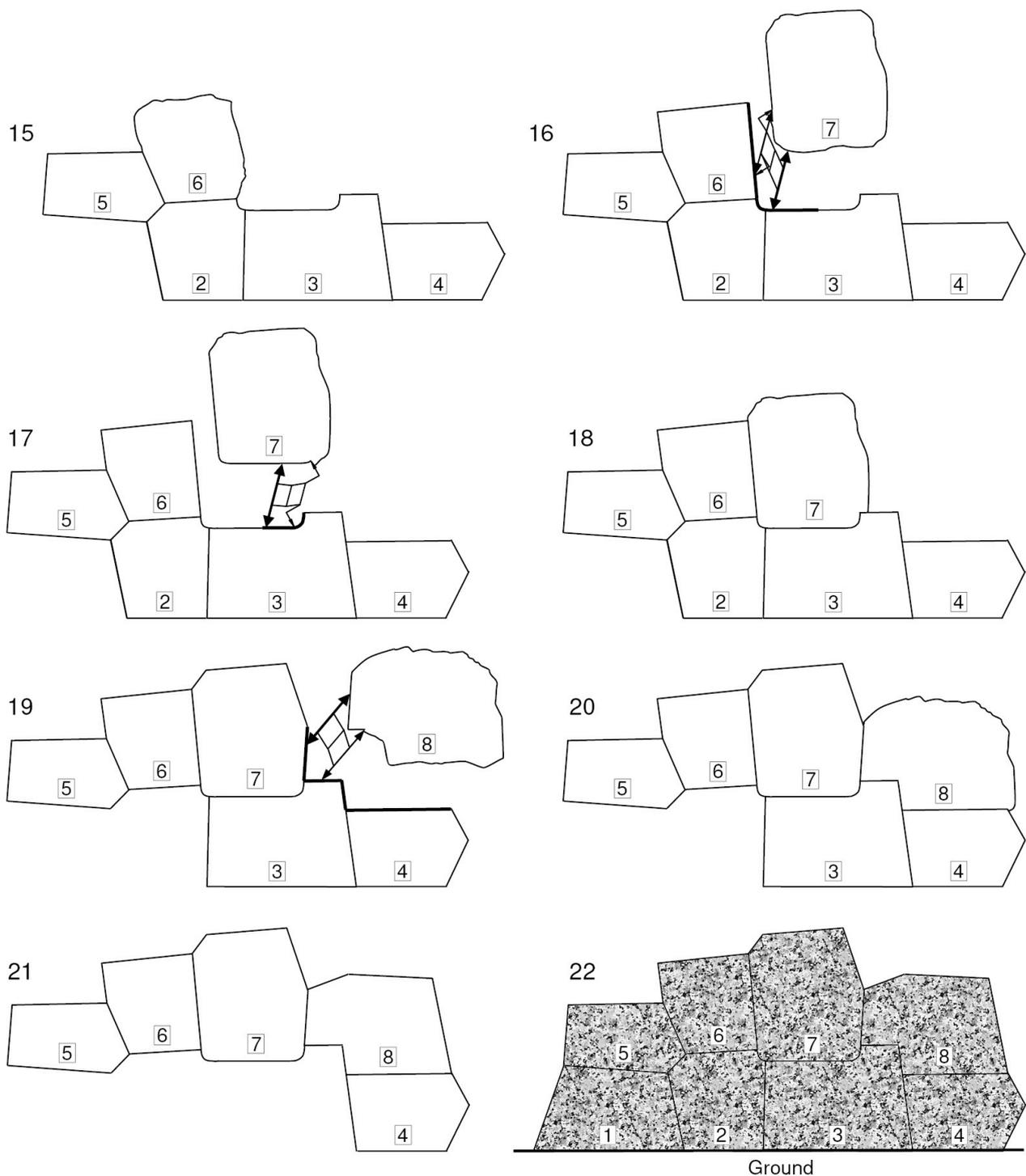


Fig. 5. Suite.

Après fabrication de la zone d'interface, les blocs sont assemblés (pos 4). Après cela, sur la surface latérale restante de la billette de pierre du bloc 2, des faces de repos (arbitraires) de ce bloc sont formées (pos. 5). Comme précédemment, le traitement de ces faces est un aplatissement de la forme initiale complexe d'une billette de pierre par des surfaces proches des plans. Les étapes ci-dessus sont répétées pour le troisième, le quatrième (pos. 5-10) et, si nécessaire, pour les blocs suivants du premier cours. Après avoir terminé la construction du premier rang, on procède à la fabrication du deuxième rang de la maçonnerie (bloc 5, pos. 11).

Contrairement aux blocs du premier rang, où l'assemblage des pierres adjacentes s'effectuait généralement sur une section latérale, les blocs du deuxième et des rangées suivantes sont joints sur plus d'une section. En règle générale, l'assemblage de ces blocs est effectué sur la base et la surface latérale adjacente à la base (pos. 11). Pour effectuer un tel assemblage, les pointes droites sont vissées dans la tige de mesure. Notez que les sections d'interface entre les blocs sur la figure 5 sont simplement représentées comme rectilignes. En pratique, toutes ces sections sont plus ou moins curvilignes. Après avoir traité le bloc 5 et vérifié la qualité de son assemblage (pos. 13), le bloc 1 peut être

retiré de la maçonnerie temporaire (pos. 14) et passé à l'assemblage final du mur (pos. 22). Le traitement du bloc 6 est similaire au traitement du bloc 5 (pos. 14-16).

Le traitement du bloc 7 pour l'évidement en forme de U se compose de deux étapes. Tout d'abord, une moitié de l'évidement en forme de U est copiée, qui est le premier évidement en forme de L (pos. 16). Ensuite, le traitement de l'évidement en forme de U se poursuit sur le deuxième (contre) évidement en forme de L (pos. 17). Le traitement du premier évidement en L (pos. 16) peut être effectué avec les pointes droites et les pointes courbées (sur la Fig. 5, les deux types de pointes sont représentés ensemble pour plus de clarté). L'usinage de la deuxième évidement en L (pos. 17) s'effectue avec les pointes coudées tournées d'environ 180°. Notez que lors du traitement des premier et deuxième évidements en forme de L, l'orientation du traducteur dans l'espace doit rester inchangée.

Ainsi, si les pointes droites ont été initialement vissées dans la tige de mesure lors du traitement de l'évidement en forme de U, elles doivent être remplacées par les pointes courbées à la deuxième étape (la distance spécifiée entre les extrémités de la sonde et le pointeur doit rester inchangée). Si les pointes coudées ont été initialement vissées dans la tige de mesure lors du traitement de l'évidement en forme de U, elles doivent être tournées d'environ 180° lors de la deuxième étape.

Dans le cas d'un grand nombre d'évidements en forme de U dans la maçonnerie, il convient d'utiliser le traducteur de topographie dont la tige de mesure a des charnières cylindriques permettant une rotation libre de la tige de mesure autour de son propre axe (voir Fig. 4(b)). Le réglage de position des pointes recourbées de la tige de mesure pour l'intervention sur les premier et second évidements en L est en fait réduit à la révolution de la tige de mesure autour de son axe d'un angle adapté à l'emplacement donné. Après avoir installé le bloc 7 à sa place (pos. 18), la surface latérale restante de ce bloc est soumise au traitement arbitraire (pos. 19). Après avoir terminé le bloc 7, le bloc 2 peut être retiré de la maçonnerie temporaire (pos. 19) et déplacé vers le chantier de construction du mur polygonal pour son installation finale (pos. 22).

Le montage du bloc 8 (pos. 19-21) ressort clairement de la figure. Si nécessaire, le troisième rang et les rangs suivants de la maçonnerie polygonale sont fabriqués de manière similaire à la fabrication du deuxième rang de la maçonnerie. La vue finale du mur composé de huit blocs posés en deux rangées est illustrée sur la figure (pos. 22).

2.10.4. Spécificités d'utilisation du traducteur de topographie

Le fonctionnement du dispositif proposé est basé sur le principe bien connu de conjugaison de deux surfaces. Comme exemple d'utilisation de ce principe pour le traitement de blocs de pierre formant une maçonnerie polygonale, on peut se référer au travail 10. Contrairement à la méthode 10, la position de fonctionnement dans l'espace du traducteur de topographie proposé peut être arbitraire en raison du mécanisme à double parallélogramme.

En pratique, les positions les plus pratiques du traducteur sont proches de l'horizontale car elles permettent au tailleur de pierre de traiter les surfaces de contact verticales des blocs de pierre posés sur le sol en face l'un de l'autre. La surface avant d'un bloc de pierre est située horizontalement et est également entièrement accessible pour le traitement. De plus, les blocs posés selon la méthode proposée peuvent être assemblés dans cette position entre eux (à l'aide de pierres de calage) ce qui permet de vérifier la qualité des interfaces mises en place avant de monter les blocs dans un mur.

Dans la méthode 10, en raison de la connexion de la tige de mesure à la verticale au moyen d'un fil à plomb, le tailleur de pierre, afin de traiter le côté supérieur du bloc du parcours précédent, doit mettre le bloc de parcours actuel, par lequel base le raccord est effectué, au-dessus du bloc du parcours précédent qui n'est pas sécuritaire et demande beaucoup d'efforts supplémentaires. Il faut notamment prévoir des arrêts (évidements ou saillies) sur les blocs de pierre, fabriquer des arrêts de bûches, enfouir ces arrêts de bûches dans le sol, poser les blocs de pierre sur les arrêts de bûches au début des travaux, et les enlever de les bûches s'arrêtent après avoir terminé le travail. Pendant ce temps, des plates-formes, des échafaudages, etc. sont nécessaires pour accéder à la surface traitée depuis la face avant du mur et pour accéder à la face avant elle-même. En outre, l'utilisation d'un fil à plomb dans la méthode 10 réduit considérablement la productivité du tailleur de pierre car il faut beaucoup de temps pour calmer le fil à plomb lors du traitement de surface du bloc. De plus, l'utilisation d'un fil à plomb lui-même peut être très difficile en cas de vent fort.

Vincent Lee, l'auteur de l'ouvrage 10, est initialement parti du fait que la maçonnerie polygonale des structures mégalithiques péruviennes a été créée par les Indiens. Conformément à cette hypothèse initiale, Vincent Lee a été contraint d'utiliser un fil à plomb comme l'outil de mesure le plus simple qui pouvait être connu des Indiens à cette époque.

De plus, l'auteur a voulu utiliser d'une manière ou d'une autre dans la méthode qu'il a proposée les saillies/évidements sur les blocs de pierre de la forteresse de Sacsayhuaman pour créer une maçonnerie polygonale. Par conséquent, un agencement extrêmement coûteux des blocs de pierre traités, les uns au-dessus des autres, est apparu en termes d'efforts appliqués.

Dans la méthode proposée, le mouvement parallèle de la tige de mesure n'est en aucun cas lié à la normale à la surface de la Terre et peut se produire à n'importe quelle orientation du translateur. Ainsi, la mise en place des blocs et leur pré-assemblage sont effectués lorsque les rangées actuelle et précédente des blocs reposent sur le sol, envers vers le bas. Ce n'est qu'après avoir terminé la pose des blocs du parcours actuel au sol que les blocs du parcours précédent peuvent être installés sur leurs positions dans le mur en construction. Par conséquent, dans la méthode proposée, il n'est pas nécessaire de traiter les pierres sur le mur en cours d'érection dans des conditions exigeantes et au risque de la vie.

Le traitement des surfaces d'accouplement dans les sections adjacentes ayant une frontière nette et dans les sections adjacentes ayant une frontière lisse (par exemple, sous la forme d'évidements en forme de L et de U) est effectué en une seule étape. Dans ce cas, l'orientation dans l'espace de la canne porte-mesure et la distance entre les pointes de la sonde et l'aiguille de la canne de mesure restent inchangées en permanence. Lors du passage à la section du contre-évidement en L lors du transfert des évidements en forme de U, il est nécessaire de remplacer les pointes droites de la tige de mesure par celles coudées ou de faire un tour correspondant des pointes coudées, si elles ont été utilisés initialement.

Lors du traitement des surfaces de contact des blocs de pierre, le traducteur de topographie est souvent situé à des angles par rapport à ces surfaces qui diffèrent considérablement de la normale (voir Fig. 5). Une telle orientation du traducteur dans le cas d'une sonde et d'un pointeur suffisamment pointus provoque une erreur supplémentaire insignifiante de transfert de topographie. Plus l'écart par rapport à la normale est grand et plus le rayon de courbure des pointes de la sonde et du pointeur est grand, plus la valeur de cette erreur est grande.

La méthode d'emboîtement des blocs décrite dans le présent document pourrait être utilisée pour la construction des murs avec une maçonnerie polygonale relativement simple, où les surfaces de contact ont une petite courbure, il n'y a pas de pointes figurées ou de marches nettes aux triples jonctions (il n'y a pas "sentiment de modelage", voir la section suivante). Puisque dans la méthode considérée, la pose séquentielle des blocs « par chantier » est effectuée, le signe de l'utilisation de cette méthode sera le montage de gros blocs dans la première rangée de maçonnerie directement sur un sol compacté ou sur un sol pré-préparé. soubassement, c'est-à-dire sans les petits blocs « d'alignement » du premier rang de maçonnerie qui assurent la bonne position mutuelle des gros blocs du deuxième et des suivants (voir plus de détails à la section 2.1).

Un autre signe de l'utilisation du traducteur de topographie sera de petits évidements appariés situés strictement l'un en face de l'autre (plus la surface de la surface de contact est grande, plus le nombre d'évidements est grand). Les évidements sont réalisés aux emplacements où la tige de support du traducteur est installée sur les supports pointus à un certain angle par rapport aux surfaces de contact. La présence d'un ensemble des régions annulaires superposées sur l'une des surfaces de contact sera également un signe de l'utilisation du traducteur de topographie proposé ci-dessus. Un autre signe de l'utilisation du traducteur est la présence d'une «visière», qui se produit souvent lors de l'ajustement du bloc (voir Fig. 5, pos. 4, bloc 2 ; pos. 6, bloc 3 ; pos. 18, bloc 7 ; pos. 18, bloc 7 ; pos.20, bloc 8). Parfois, de telles visières se trouvent sur des blocs incomplets, étant à leur tour un signe de l'inachèvement du bloc.²³

Il convient de noter en conclusion que le principal avantage de la méthode proposée est que la moitié des surfaces de contact des blocs de pierre y sont traitées arbitrairement.

2.11. Un renflement de la face avant et une houle dans sa partie inférieure, des cuspidés aux triples jonctions

Un renflement typique de la face avant ainsi qu'un renflement dans sa partie inférieure (à ne pas confondre avec les bossages) que l'on retrouve dans certaines structures (voir, par exemple, Photos. 1-4) servent souvent d'une des preuves de la version "plastique"^{12,13,14} de la maçonnerie polygonale. Selon la version en plastique, les blocs partiellement solidifiés étaient empilés les uns sur les autres. En conséquence, les espaces interblocs dans la maçonnerie polygonale ont été fermés sous le poids propre de ces blocs et la surface avant a obtenu le renflement et la houle spécifiés.

Dans la méthode proposée, les deux signes - le renflement et la houle peuvent apparaître d'eux-mêmes au stade de la fabrication du modèle d'argile du mur à moins que le mélange d'argile n'ait pas été assez épais et qu'aucun revêtement n'ait été

utilisé à l'avant et à l'arrière. Le renflement et la houle peuvent également être produits intentionnellement lors de la sculpture du modèle en argile.

Très probablement, le renflement et la houle ont été donnés intentionnellement aux blocs. Les deux caractéristiques augmentent la sensation de massivité, la grandiosité de la structure, son poids colossal; il nous semble que les pierres sont aplaties sous un poids énorme. Le renflement était également destiné à démontrer aux Indiens naïfs la puissance des blancs arrivés, qui pouvaient «sculpter», si nécessaire, un bâtiment dans d'énormes pierres dures comme de la pâte.

Les pointes ("becs") et les marches (voir Fig. 6) sont clairement visibles aux points de rencontre de trois blocs adjacents. Ces éléments sont réalisés lors de la sculpture du modèle en argile puis reportés sur le bloc de pierre avec le pantographe. Outre une butée limitant le mouvement du bloc adjacent dans le plan horizontal, les redents confèrent à la maçonnerie polygonale une grâce particulière. Selon l'idée des créateurs, les cuspidés ainsi que le parallélisme des bords incurvés changeant en douceur étaient destinés à donner une sensation de facilité à travailler avec une pierre. Ces caractéristiques font penser au spectateur que les blocs sont littéralement sculptés dans une pierre. Nous devons rendre hommage aux anciens maîtres; ils ont réussi cette technique !



Fig. 6. Cuspes et marches.

Compte tenu de ce qui précède, au lieu du terme "maçonnerie polygonale", il serait tout à fait juste d'utiliser le terme "sculpture polygonale" dans les cas où une structure en pierre est créée sur la base de la sculpture à la main d'un modèle en argile fabriqué dans un certain style artistique avec des interfaces de verrouillage uniques entre les blocs.

2.12. Datation indirecte par les destructions constatées des éléments de maçonnerie

La cuspidé est l'un des points faibles de la maçonnerie polygonale en termes de résistance. Ainsi, les cuspidés doivent échouer en premier pendant le processus d'altération naturelle. De nombreuses pierres au Pérou sont recouvertes de lichen (voir Photos. 7, 9), de sorte que le facteur biologique doit également être pris en compte en plus de l'altération lors de l'estimation du taux de destruction des pierres. Étonnamment, le type de maçonnerie polygonale considéré est parfaitement conservé dans les montagnes (Cusco, Machu Picchu, Ollantaytambo, etc.), où le climat est caractérisé par de fortes

variations de température (15-20°C) au cours d'une journée, par de fortes précipitations et par de légères gelées en hiver (juin-août).²⁴

Outre les intempéries, un déplacement de pierres dans la maçonnerie lors d'un tremblement de terre^{2,3,4,5} ou lors d'un glissement de terrain du talus⁴ (souvent déclenchée par un tremblement de terre) peut entraîner la destruction des cuspidés. Il convient de noter que les clivages des cuspidés peuvent se produire lors du processus de fabrication des blocs de pierre, lors du transport, de l'installation ou de la restauration. Certaines de ces cuspidés fendues peuvent être partiellement réparées. Les cuspidés réparés sembleront plus enfoncés dans le corps de la maçonnerie que les normales.

L'étude de la maçonnerie polygonale en roches dures (granite, andésite, basalte) montre que les cuspidés sont présentes mais peu nombreuses. L'absence de destructions notables dans des conditions climatiques assez rudes et la forte activité sismique au Pérou permettent d'affirmer la construction relativement récente, depuis environ 300 ans, des complexes mégalithiques. Une estimation grossière peut être obtenue en comparant l'état des complexes mégalithiques avec des monuments faits de matériaux similaires, dont la date de construction est connue, se trouvant dans des conditions météorologiques similaires.

2.13. Comment le prouver ? Que doit-on rechercher et où ?

Qu'est-ce qui peut servir de confirmation des méthodes proposées de fabrication de la maçonnerie polygonale ? Sur le territoire ou à proximité des ensembles à maçonnerie polygonale ou dans des carrières, des débris de construction doivent subsister, dans lesquels des fragments de blocs modèles en argile et des fragments de répliques en argile/gypse doivent être recherchés. Certes, il faut avant tout étudier les matériaux des fouilles menées. Il n'est pas improbable que certains fragments appropriés en forme, taille et matériaux aient déjà été trouvés et documentés. Très probablement, une grande partie des débris a été utilisée pour renforcer le sol sous la structure de construction suivante. Par conséquent, en cas de reconstruction de toute structure endommagée par des causes naturelles, les preuves sous forme de modèles et de répliques en argile doivent être recherchées dans le sol sous la structure elle-même.

En supposant que dans le pantographe utilisé par les constructeurs, le modèle d'argile et la billette de pierre étaient positionnés de la même manière que dans le pantographe moderne, c'est-à-dire horizontalement avec l'envers vers le bas (pour fixer le bloc en cas de surface arrière inégale, caler les pierres sont utilisés), alors les marques de ciseau sur la surface latérale des blocs de pierre doivent aller de droite à gauche (ciseau dans la main gauche, marteau dans la droite) et de haut en bas (au début de la trace, l'évidement est plus grand qu'à la fin). Les marques elles-mêmes doivent être de courts traits parallèles disposés en colonnes verticales.

Les marques de ciseau doivent être recherchées sur les blocs de pierre des roches dures - granite, andésite, basalte. Les roches tendres, telles que le calcaire, ont une porosité élevée ; la couche superficielle de ces pierres est rapidement détruite par les intempéries. De plus, les marques de ciseau sur la surface calcaire sont facilement détruites lors de l'opération de lissage ultérieure par taraudage. En raison des intempéries, il est également inutile d'étudier les surfaces d'interface des blocs de pierre à partir de roches dures qui sont restées à l'air libre en dehors de la maçonnerie pendant un nombre inconnu d'années. Pour analyser une surface d'interface, il faut prendre des pierres d'une maçonnerie intacte ayant des lacunes minimales, qui pourraient recevoir une très petite quantité d'humidité.

Il convient de noter que la maçonnerie de blocs de pierre, vieille de plusieurs centaines d'années, est très probablement impossible à démonter afin de conserver intacte la couche superficielle de pierre aux points de contact. Le fait est que pendant toute la période d'existence de la maçonnerie dans les conditions climatiques mentionnées ci-dessus, divers processus physico-chimiques ont eu lieu aux points de contact provoquant une modification de la composition minérale en ces points. De ce fait, selon le procédé, le contact peut se rompre (avec formation de sable) en certains points et au contraire se renforcer en d'autres points. Une tentative de séparation des sites, où le renforcement a eu lieu, entraînera la destruction de la couche de surface de pierre adjacente au contact. Quoi qu'il en soit, les tailles des pierres et leur géométrie vont changer après le démontage de l'ancienne maçonnerie polygonale.

2.14. Datation indirecte au temps de la 3D-invention du pantographe

Si nous acceptons la version proposée de la fabrication de maçonnerie polygonale avec un pantographe, les structures des Incas "incroyablement" anciens peuvent être approximativement datées par les années d'invention/construction de pantographes par

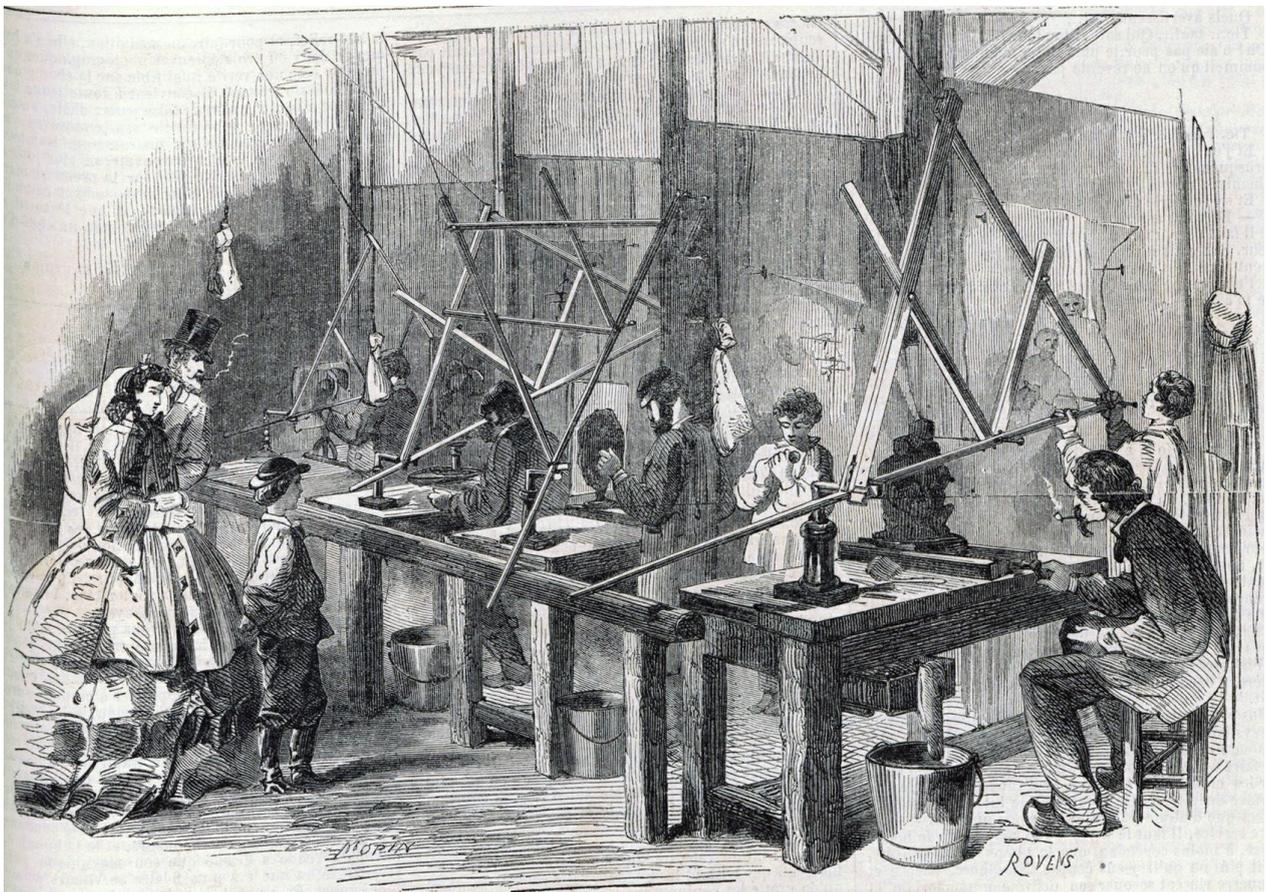
Européens. Le pantographe pour travailler avec un dessin plat a été inventé en 1603-1605 par Christoph Scheiner.²⁵ Il convient de noter que les informations sur la conception du pantographe ont été publiées par l'auteur sous la forme d'un livre séparé²⁶ seulement 28 ans après l'invention.

Vers 1710-1720, les mécaniciens russes Franz Singer et Andrey Nartov²⁷ construisent une machine à tourner pour copier les médailles.^{28,29} La machine était destinée à la production de médailles en mode automatique en transférant un relief à partir d'un modèle de médaille de grande taille. Il n'est pas tout à fait correct de comparer la machine Singer-Nartov avec le pantographe 3D moderne utilisé par les sculpteurs (voir Fig. 2), car les schémas cinématiques de ces mécanismes diffèrent considérablement. Malgré cela, il convient de prêter attention à la complexité du mécanisme de la machine, qui dépasse notamment la complexité du mécanisme de pantographe moderne. En particulier, le mouvement de la sonde le long de la surface du modèle et l'application de l'outil de coupe sur la surface de la billette dans le pantographe 3D sont effectués manuellement par le sculpteur, alors que ces fonctions sont mises en œuvre dans l'exemple donné de la machine sans intervention humaine. Notez que des photocopieurs comme celui-ci ont été construits et utilisés dans de nombreux pays européens au 18^{ème} siècle.

En 1807, James Watt³⁰ commence à concevoir un mécanisme³¹ destinés à la production de copies réduites de sculptures.³² Le schéma cinématique du mécanisme de Watt est proche du schéma cinématique du pantographe 3D moderne. Cependant, il existe un certain nombre de différences. Au lieu de la rotule, la flèche est montée sur un joint universel; il n'y a pas de mécanisme de parallélogramme; le modèle et sa copie réduite sont situés horizontalement, etc.

Le schéma cinématique du pantographe construit par Benjamin Cheverton³³ en 1826 est le plus proche du schéma cinématique du pantographe 3D moderne (voir Fig. 2). En construisant le pantographe, Cheverton s'est appuyé sur la conception précédemment proposée par John Hawkins.³⁴ Tout comme le pantographe Watt, le pantographe Hawkins-Cheverton était destiné à produire des copies réduites de sculptures.

Il convient de noter que le pantographe Watt et le pantographe Hawkins-Cheverton avaient un graveur intégré, dont la fraise effectuait le traitement mécanique de la billette. Un graveur n'est pas nécessaire dans les méthodes considérées ci-dessus créant la maçonnerie polygonale. Par conséquent, le pantographe de construction est mécaniquement plus simple que les pantographes Watt et Hawkins-Cheverton. Le dessin montre l'atelier de la seconde moitié du XIX^{ème} siècle, dans lequel la copie en masse de statues était réalisée à l'aide d'un pantographe 3D.³⁵



Dessin. 1. Atelier de copie de statues du XIXe siècle au pantographe 3D (encre, artistes E. Morin, E. Rovens, 1864).

Il ne fait aucun doute qu'après avoir créé un pantographe 2D au début du XVIIe siècle, les scientifiques de l'époque et, tout d'abord, l'inventeur du pantographe 2D lui-même, Christoph Scheiner, ont immédiatement pensé à créer un pantographe 3D mécanisme avec lequel il serait possible d'obtenir des copies réduites/agrandies d'objets tridimensionnels. En fait, pour que la transition fonctionne avec des objets tridimensionnels, le pantographe 2D devait simplement être fixé non pas dans le cylindre, mais dans une rotule ; le mécanisme de parallélogramme doit pouvoir tourner librement autour du bras installé dans la rotule (flèche du pantographe), et le modèle et la billette doivent pouvoir tourner de manière synchrone autour de leurs axes verticaux au moyen d'une chaîne (voir Fig. 2) transmission ou une transmission à engrenages (voir réf. 33).

L'application de la transmission par chaîne dans le pantographe de construction est plus justifiée par rapport à la transmission par engrenage. Le fait est que les dimensions et le poids importants des blocs de pierre de traitement entraînent des dimensions et un poids importants des roues dentées utilisées. De plus, la transmission par chaîne permet de modifier facilement la distance entre les plates-formes rotatives, responsable du facteur de réduction/agrandissement du pantographe. Le changement de distance s'effectue en déplaçant les plates-formes le long du châssis. A cet effet, un nombre correspondant de maillons est ajouté ou retiré de la chaîne et/ou la chaîne est tirée par un galet situé à l'extrémité d'une console à ressort. Dans ce cas, le facteur de réduction/agrandissement s'avère être presque continu. Pour changer la distance dans le cas d'une transmission à engrenages, le jeu de roues installé est remplacé par celui qui convient le mieux parmi les jeux disponibles, dont le nombre est généralement limité. Par conséquent, le facteur de réduction/agrandissement s'avère être fortement discret.

En analysant des mécanismes similaires à la machine Singer-Nartov, nous pouvons conclure que le développement et la construction du pantographe 3D de conception moderne du point de vue de la complexité du diagramme cinématique, de la technologie de travail des métaux et des matériaux utilisés étaient tout à fait faisables pour la mécanique au début. 18e siècle déjà. À ce moment-là, tous les problèmes liés à la précision de la copie, à savoir : les jeux dans les rotules et les joints cylindriques en bronze, les jeux dans la transmission chaîne/engrenage, ainsi que la rigidité de la flèche et du châssis (nécessitaient que la position relative des éléments du pantographe reste inchangé pendant le fonctionnement), avait déjà été résolu avec succès. Par conséquent, il est très étrange qu'il ait fallu si longtemps pour créer un pantographe 3D, plus de 220 ans !

Aujourd'hui, nous n'avons toujours aucune preuve écrite ou matérielle confirmant l'existence d'une construction 3D pantographe au 18ème siècle. Néanmoins, compte tenu de l'état de l'art de l'époque, on ne peut exclure la probabilité qu'un tel pantographe ait pu être développé, construit et trouvé un usage limité dans la construction, mais l'inventeur lui-même et son pantographe sont restés inconnus d'un large éventail. d'experts. Le fait est que les maîtres maçons de l'époque n'étaient pas pressés de divulguer leurs secrets professionnels. A en juger par combien de temps le mystère de la création de la maçonnerie polygonale avait persisté, les maîtres maçons ont su bien garder leurs secrets.

2.15. Qui l'a construit, quand et avec quels fonds ?

Le problème avec les structures basées sur la maçonnerie polygonale est le suivant. L'histoire officielle précise que les structures existaient avant l'arrivée des Européens dans le Nouveau Monde au XVIe siècle, et que les Indiens d'Amérique ne connaissaient ni outils de fer ni roue et n'avaient pas d'animaux de trait à cette époque. De cette affirmation, il n'y a qu'une seule conclusion : les structures ont été construites par une civilisation plus ancienne qui existait en Amérique avant les Indiens, entre-temps dont la culture du travail de la pierre, en général, correspondait à la culture de construction européenne des XVIe-XVIIe siècles.

Le problème avec cette ancienne civilisation mythique est qu'elle n'a laissé aucune autre preuve matérielle de son existence, à l'exception des structures de pierre parfaites. Comme indiqué à juste titre dans le travail 17, la maçonnerie polygonale de haute qualité et les structures basées sur apparaissent instantanément (selon les normes historiques) comme si elles venaient de nulle part, puis disparaissent également instantanément dans nulle part. Il n'y a ni développement notable antérieur ni ultérieur dans l'architecture et la technologie de ces structures. Cela ne peut se produire que lorsqu'un groupe de constructeurs professionnels vient sur un certain territoire pour une courte période, disons, pendant 10 ans, avec leurs propres outils, artifices et techniques de construction.

La fugacité des événements survenus dans l'industrie de la construction de ces années indique la productivité élevée

des étranges bâtisseurs et de leurs méthodes de construction. Les contradictions sont instantanément résolues si les auteurs des structures visitent des constructeurs européens,^{36,37,38,39,40} et le temps d'érection des structures est transféré de "moins l'infini" au 18^{ème} siècle. Pour la livraison, le déplacement et le traitement grossier des pierres, le renforcement des pentes et d'autres travaux lourds et non qualifiés, bien sûr, les Indiens locaux ont été rassemblés par les ordres des chefs indiens maîtrisés/achetés par les Espagnols. Ainsi, dans un certain sens, les complexes mégalithiques péruviens sont aussi les structures construites par les Incas, bien que pas si anciennes.

Toute construction à grande échelle repose toujours sur une base économique solide. Il est difficile d'imaginer que les complexes mégalithiques aient été construits pour les Indiens aux dépens des Espagnols. Bien sûr, ces complexes ont été créés aux dépens des Indiens et sur les os des Indiens. Mais que pouvaient offrir les Indiens aux colonisateurs espagnols ? L'or et l'argent dont ils disposaient ont été capturés dans les premières années de la conquête et emmenés en Europe. La terre péruvienne n'était pas en mesure de produire beaucoup de coton, de canne à sucre ou de céréales.

Puisque les Indiens avaient de l'or et de l'argent au début de la conquête, cela signifie qu'ils l'ont pris quelque part. Par conséquent, les Espagnols ont organisé l'extraction d'or et d'argent dans les mines et les champs aurifères.^{40,41,42,43} Et pour rendre le travail dans les mines plus amusant, le sacerdoce aborigène a inspiré le peuple indien avec l'apparence et la grandeur des temples mégalithiques, qui ont été construits au détriment d'une partie des fonds reçus de l'extraction des métaux précieux. Après quelques décennies, les gisements d'or et d'argent facilement accessibles se sont épuisés et la construction des complexes mégalithiques s'est arrêtée. À cette époque, le pouvoir des Espagnols et de l'Église catholique avait augmenté d'une manière ou d'une autre "imperceptiblement", et le nombre d'Indiens avait été considérablement réduit d'une manière "incompréhensible".⁴²

La mauvaise nourriture et la vie dans des cabanes n'ajoutaient pas la santé aux mineurs, les lieux de « force » ne compensaient plus les forces enlevées par le travail épuisant dans les mines.⁴² En général, le temps est venu où certaines des structures religieuses abandonnées des Indiens pourraient enfin être utilisées à bon escient sans trop de problèmes. Et ces structures ont été utilisées à bon escient. Des blocs de pierre et des parties des structures ont été utilisés pour l'érection de cathédrales catholiques, d'abbayes, de palais, de villas, de bâtiments urbains et industriels.

3. Débat

Parmi les matériaux liés au sujet, il convient de noter le travail 14. L'auteur a suggéré d'utiliser un modèle de gypse réduit d'un bloc de pierre et de transférer et de mettre à l'échelle une géométrie de surface compliquée à effectuer avec un étrier par plusieurs points de référence. Le modèle en plâtre est généralement requis pour éviter l'usure du modèle original en argile lors de la production de copies. Ce problème ne se pose pas lors de la fabrication de blocs pour la maçonnerie polygonale. De plus, en cas de fabrication de modèle en bloc par une billette de pierre de forme arbitraire, le modèle en argile n'est utilisé qu'une seule fois puis jeté (sert de noyau pour un nouveau modèle). Ainsi, pour atteindre le résultat souhaité, il suffit de ne posséder qu'un modèle en argile du bloc.

Le processus de transfert d'une géométrie de surface compliquée et de sa mise à l'échelle par quelques points de référence à l'aide d'un pied à coulisse prend beaucoup de temps et est imprécis. Cependant, ce processus cesse d'être long et imprécis si nous appliquons un pantographe au lieu de l'étrier. L'analyse montre que dans la plupart des cas, d'abord, un modèle d'argile réduit est créé par une billette de pierre de forme arbitraire à l'aide d'un pantographe. Ensuite, les régions sont découpées dans le modèle d'argile du bloc pour s'interfacer avec les blocs voisins. Après cela, un mur modèle est assemblé à partir des blocs modèles. Après séchage, le mur est démonté et les sites d'interface des blocs modèles sont transférés à leurs billettes de pierre au moyen du pantographe. Puisqu'il n'y a pas de solutions universelles dans la construction, comme dans tout autre domaine, les constructeurs, outre le pantographe,

3.1. Phénomène des pierres "fatiguées"

Jusqu'à présent, un certain nombre de questions concernant le phénomène des pierres "fatiguées" restent sans réponse. Les pierres fatiguées sont dispersées dans un désordre pittoresque le long de la route menant de la carrière à la forteresse d'Ollantaytambo.^{8,9} Comment les pierres fatiguées auraient-elles pu rester pendant des centaines d'années sur le bord de la route (certaines sur la route) et ne disparaître nulle part ? Les Indiens n'adoraient pas les parallélépipèdes de pierre. Donc, si, disons, des niches étaient faites dans ces parallélépipèdes, alors ce serait une autre affaire. Pendant ce temps, à ce jour, les pierres enfin épuisées avec une persistance incroyable continuent de nous montrer le chemin de la carrière, où les blocs pour

la forteresse était minée. Pourquoi dans le pays montagneux, où les pierres sont utilisées pour la construction de tout – bâtiments, ponts, routes ; ces pierres absolument épuisées si commodément situées sur le bord de la route - prenez et utilisez, personne n'a encore été divisé en plus petites parties et mis en action ? La plupart de ces pierres sont fendues en une journée par les efforts d'un tailleur de pierre expérimenté. Mais non, nous voyons la sécurité et l'invulnérabilité complètes de ces pierres. Il s'avère que les autorités locales pendant toutes ces centaines d'années, pour une raison quelconque, ont strictement veillé à ce que personne ne touche à ces blocs de pierre.

3.2. Parement relief polygonal

Outre le simple habillage des faces avant des blocs de pierre, la technologie considérée dans l'article permet de créer une maçonnerie polygonale (parement) dont la surface frontale est en relief. Le complexe de temples cambodgiens d'Angkor⁴⁴ est l'exemple où une telle technologie de maçonnerie/revêtement pourrait être appliquée.

3.3. Fabrication de statues symétriques au moyen d'un pantographe

La méthode de coulée, dans laquelle, d'abord, un noyau (plein ou creux) de béton bon marché est coulé, puis, après la fin du retrait du noyau, une coque relativement mince (couche de «plâtre») de granit artificiel plus coûteux est coulée sur , en raison de sa complexité ne convient pas à la construction polygonale à grande échelle, dans laquelle tous les blocs de pierre sont différents. Pendant ce temps, cette méthode est idéale à la fois pour la fabrication de statues uniques et pour la production en série de statues identiques.

Par exemple, certaines statues « égyptiennes antiques » de pharaons et de sphinx recouvertes d'une couche de plâtre de pierre artificielle (granit, dolérite) auraient été fabriquées à l'aide de cette technologie.⁴⁵ Étant donné que parmi certaines statues « égyptiennes antiques », il existe des statues qui ne diffèrent que par la taille, on peut supposer que ces statues ont été créées par le même modèle original en utilisant le pantographe ajusté pour différents facteurs d'agrandissement.

De nombreux chercheurs ont depuis longtemps attiré l'attention sur la symétrie presque parfaite (visage, coiffe, torse) de certaines statues égyptiennes (Ramsès II, Amenhotep III, Néfertiti). La question de savoir comment cette symétrie s'est réalisée est longtemps restée ouverte. Parallèlement, une petite modification du mécanisme du pantographe permet de produire des statues avec un haut degré de symétrie des côtés gauche et droit.⁴⁵ Montrons comment cela a été réalisé dans la pratique.

D'abord, comme d'habitude, un sculpteur crée un modèle d'argile agrandi par le modèle d'argile réduit à l'aide du pantographe. Après cela, la chaîne en forme de 0 dans le pantographe est remplacée par une chaîne en forme de 8. Suite à cette modification, la plate-forme avec le modèle réduit de la statue et la plate-forme avec le modèle agrandi de la statue tourneront dans des directions mutuellement opposées. Si le pantographe utilisé a une roue dentée intermédiaire³³ (dans le cas général, un nombre impair d'engrenages intermédiaires identiques) pour entraîner les plates-formes à la place de la chaîne, alors une paire d'engrenages intermédiaires identiques (dans le cas général, un nombre pair d'engrenages intermédiaires identiques) doit être installée à la place de celle-ci roue ou exclure les engrenages intermédiaires du tout.

Maintenant, le sculpteur, en considérant les mérites artistiques des moitiés gauche et droite du modèle réduit de la statue, doit décider - quel côté de la statue il veut copier exactement sur son autre côté. Après avoir décidé du côté, que ce soit le côté gauche pour la précision, le sculpteur applique la sonde sur le côté gauche du modèle réduit (la sonde doit rester perpendiculaire à la flèche du pantographe). Dans ce cas, le pointeur du pantographe affichera le point correspondant dans l'espace sur le côté droit du modèle agrandi. S'il y a un excès d'argile au point indiqué, alors il est enlevé directement par le pointeur du pantographe; s'il y a pénurie, le sculpteur ajoute la quantité d'argile nécessaire à ce point. Pour utiliser le pantographe à des angles palpeur/pointeur par rapport à la flèche du pantographe différents de 90° (cas général),¹⁸ mécanisme. Pour ce faire, il suffit de déplacer les longues barres du parallélogramme à la place des diagonales du parallélogramme.

Le résultat des modifications du pantographe est une sculpture dont les côtés gauche et droit sont très symétriques. Les écarts de symétrie dans une telle sculpture sont déterminés par l'erreur du mécanisme du pantographe. Pour réduire l'effet de l'erreur de pantographe, le travail de symétrisation d'une tête, par exemple, doit partir de la pointe du nez, là où l'erreur sera nulle, et se terminer à l'arrière de la tête, là où l'erreur sera la plus grande, mais moins perceptible. Notez qu'une augmentation progressive de la violation de la symétrie du nez à l'arrière de la tête sera un signe de la technologie basée sur l'utilisation d'un pantographe 3D.

Il existe plusieurs bâtiments polygonaux qui ont de courtes sections de maçonnerie avec une disposition symétrique des blocs (Sacsayhuaman, Ollantaytambo). Cependant, la symétrie au niveau de ces sections n'est qu'approximative (voir Photo. 11). Les blocs à gauche et à droite de l'axe vertical de symétrie ne sont pas complètement symétriques par réflexion, ils diffèrent par leur forme et leur taille. Ainsi, l'opportunité technique offerte par le pantographe 3D qui permet de créer la maçonnerie polygonale avec des sections symétriques de réflexion était soit inconnue des constructeurs des complexes polygonaux à cette époque, soit n'était pas simplement utilisée.

Les connaissances accumulées dans le domaine de la mécanique et le niveau technologique atteint au début du XVIIIe siècle pourraient tout à fait permettre de concevoir et de construire le pantographe 3D adapté aux besoins de la construction. Ainsi, si l'on accepte la méthode de création de maçonnerie polygonale proposée dans l'article, la construction d'un certain nombre de complexes mégalithiques au Pérou ne devrait pas être antérieure au début du XVIIIe siècle. Le complexe de temples cambodgiens d'Angkor et un certain nombre de sculptures « de l'Égypte ancienne » devraient également être datés au plus tôt du début du XVIIIe siècle.

Photographies

Les photos montrent les maçonneries polygonaux qui peuvent être obtenues en utilisant les méthodes proposées dans l'article. Les caractéristiques distinctives de ces maçonneries sont les suivantes : les blocs de pierre sont volumineux et pèsent de plusieurs centaines de kilogrammes à plusieurs tonnes, les blocs sont étroitement assemblés les uns aux autres sans espace à travers de vastes surfaces courbes compliquées.

Remerciements

Je remercie OV Obyedkov, le professeur IK Fomenko, OE Lyapin, le Dr VM Soroka et DV Pisarenko pour la lecture critique du manuscrit et pour leur aide dans la conduite de cette recherche.

Matériaux utilisés

1. [Maçonnerie polygonale](#), Wikipédia.
2. [Liste des tremblements de terre au Pérou](#), Wikipédia.
3. C. Cuadra, «[Caractéristiques dynamiques de la maçonnerie en pierre d'Inca](#)», ch. 15, pp. 421-460 dans le livre «[Construction de maçonnerie dans les régions sismiques actives](#)» (série en génie civil et structurel), édité par R. Rupakhety, D. Gautam, Woodhead Publishing, 466 pp., 2021.
4. MA Rodríguez-Pascua, C. Benavente Escobar, L. Rosell Guevara, C. Grützner, L. Audin, R. Walker, B. García, E. Aguirre, «[Des tremblements de terre ont-ils frappé le Machu Picchu ?](#)», Journal de sismologie, vol. 24, p. 883-895, 2020.
5. KG. Hinzen, A. Montabert, «[Blocs rectangulaires vs murs polygonaux en archéosismologie](#)», Annales de géophysique, vol. 60, non. 4. pages S0443-0460, 2017.
6. [Mur polygonal dans Delphes](#), Grèce, Wikipédia.
7. JO Outwater, "[Construction de la forteresse d'Ollantaytambo](#)", Archéologie, vol. 12, non. 1, p. 26-32, 1959.
8. J.-P. Protzen, "[Inca carrière et taille de pierre](#)", Journal de la Société des historiens de l'architecture, vol. 44, non. 2, pages 161-182, 1985.
9. J.-P. Protzen, "[Architecture et construction incas à Ollantaytambo](#)", Oxford University Press, 303 pages, New York, Oxford, 1993.
10. VR Lee, "[Le bâtiment de Sacsahuaman](#)", Journal d'archéologie andine (Ñawpa Pacha), vol. 24, éd. 1, pages 49-60, 1986.
11. EM Shilin, "[Maçonnerie polygonale au Pérou en Amérique du Sud - une vue particulière d'un architecte](#)", Projectsbrick-houses-ru (en russe).
12. Alexandre, "[Maçonnerie polygonale: technologies de chalet](#)", YouTube, 2015 (en russe).
13. Alexandre, "[Maçonnerie polygonale: technologies de chalet II](#)", YouTube, 2016 (en russe).
14. Démêler l'histoire, "[Comment la maçonnerie polygonale a-t-elle été réalisée ?](#)", YouTube, 2019 (en russe).
15. Alexandre Tamansky, «[Mégalithes incas, maçonnerie polygonale et mensonge des historiens](#)», YouTube, 2021 (en russe).
16. [Pantographe](#), Wikipédia.
17. GRESAR, «[Traces des technologies de quelqu'un d'autre](#)», parties 1-8, YouTube, 2019-2021 (en russe).

18. II Artobolevski, «[Mécanismes dans la conception technique moderne : un manuel pour les ingénieurs, les concepteurs et les inventeurs](#)», vol. 1, Mir, Moscou, 1976.
19. M. Rogińska-Niesłuchowska, «[Le pantographe et ses transformations géométriques - un ancien outil populaire pour la copie et la mise à l'échelle](#)», Le Journal de la Société polonaise de géométrie et d'ingénierie graphique, vol. 29, p. 59-65, 2016.
20. Michel Keropian, «[Agrandissement du pantographe 3D](#)», parties 1 à 7, YouTube, 2018.
21. Michel Keropian, «[Agrandissement et réduction de sculpture, pantographe 3D](#)», Michel Keropian Sculpture.
22. Président du SNT, «[Qui a vraiment construit Cronstadt ?](#)», YouTube, 2019 (en russe).
23. J.-P. Protzen, «[La forteresse de Saqsa Waman : a-t-elle jamais été achevée ?](#)», Journal d'archéologie andine (Ñawpa Pacha), vol. 25, éd. 1, pages 155-175, 1987.
24. [Climat du Pérou](#), Wikipédia.
25. [Christophe Scheiner](#), Wikipédia.
26. C. Scheiner, «[Pantographice seu ars delineandi res quaslibet per parallelogrammum lineare seu cavum, mechanicum, mobile](#)», Typographia Ludouici Grignani, 108 pp., Rome, 1631 (en latin).
27. [Andreï K. Nartov](#), Wikipédia.
28. [Machine à tourner pour copier des médailles](#), Musée de l'Ermitage, Saint-Pétersbourg.
29. VV Danilevsky, «[Nartov et son « aperçu clair des machines »](#)», édité par AS Britkin, Mashgiz, 271 pp., Moscou, Leningrad, 1958 (en russe).
30. [James Watt](#), Wikipédia.
31. [Réduction de la machine à copier les sculptures](#), Science Museum, Londres.
32. JP Muirhead, «[La vie de James Watt, avec des extraits de sa correspondance](#)», pp. 454-466, 2e édition révisée, John Murray, 572 pp., Londres, 1859.
33. [Machine pour reproduire la sculpture](#), Science Museum, Londres.
34. [John I. Hawkins](#), Wikipédia.
35. T. Gauthier, «[Photosculpture](#)», Le Monde illustré, pp. 396-398, 17 décembre 1864 (en français).
36. Alexandre Tamansky, «[Qui et quand a construit les pyramides égyptiennes ?](#)», YouTube, 2020 (en russe).
37. Alexandre Tamansky, «[Comment les pyramides égyptiennes ont-elles été construites ?](#)», YouTube, 2021 (en russe).
38. Alexandre Tamansky, «[Qui a construit les pyramides américaines ?](#)», YouTube, 2021 (en russe).
39. Alexandre Tamansky, «[Voies romaines de l'Amérique précolombienne](#)», YouTube, 2021 (en russe).
40. Alexandre Tamansky, «[L'argent américain dans les monnaies romaines](#)», YouTube, 2021 (en russe).
41. [Le commerce mondial de l'argent du XVIe au XIXe siècle](#), Wikipédia.
42. P. Bakewell, «[Mineurs de la Montagne Rouge : travail indien à Potosí, 1545-1650](#)», University of New Mexico Press, 213 pp., Albuquerque, 1984.
43. JJ TePaske, «[Un nouveau monde d'or et d'argent](#)», édité par KW Brown, Brill, 340 pp., Leiden, Boston, 2010.
44. [Angkor](#), Wikipédia.
45. RV Lapshin, "Comment un sculpteur inconnu a-t-il réalisé une symétrie parfaite du visage du pharaon égyptien Ramsès II?" (sous préparation).
46. C. Dunn, «[Technologies perdues de l'Égypte ancienne : ingénierie de pointe dans les temples des pharaons](#)», Bear & Company, 400 pages, 2010.

Citant : RV Lapshin, "[Méthodes de fabrication de la maçonnerie polygonale de grands blocs de pierre étroitement ajustés avec des interfaces de surface courbes dans les structures mégalithiques du Pérou](#)", Prépublications, non. 2021080087, 38 pages, 2021 (DOI : [10.20944/preprints202108.0087.v5](#))

ciseau

modèle d'argile

Cuzco

marteau

Inca

Machu Picchu

mégalithe

Ollantaytambo

pantographe

Pérou

maçonnerie polygonale

réplique

bloc de pierre

traducteur

Lieu: [Москва, Россия](#)



Entrez votre commentaire...

ses services et analyse le trafic. Votre adresse IP et les formules et à la sécurité, sont transmises à Google et des données d'utilisation, et de détecter et de résoudre les

[Propulsé par Blogger](#)

Images thématiques par [Michel Elkan](#)

nous d'accord