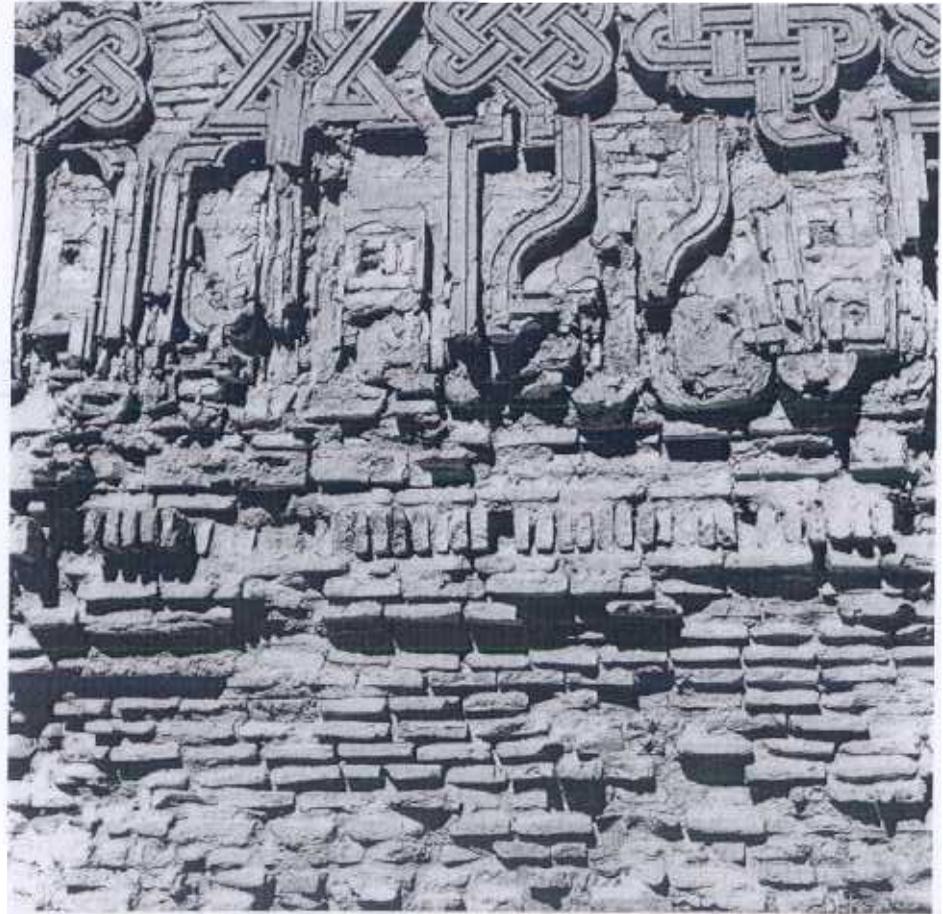


Techniques et matériaux

Le minaret de Jam, Afghanistan

ANDREA BRUNO



décoration brique

première part

Le minaret de Jam se trouve au centre de l'Afghanistan à une altitude de 1900 m; situé au confluent de deux vallées étroites et des deux cours d'eaux qui les parcourent, il est entouré de chaînes de montagne s'élevant jusqu'à 2300 m d'altitude. Il a été construit entre 1163 et 1202 sur ordre du Sultan Ghiyath al-din Muhammed Ibn Sam. Réalisé entièrement en briques cuites liées avec du mortier, il est caractérisé par une décoration monochrome en hauts et bas-reliefs obtenue grâce à une technique spéciale de pose qui permet de créer des dessins géométriques élaborés (Figs 1 et 2), intégrés d'écriture coufique reproduisant des versets du Coran; une bande de brique cuite émaillée bleue fournit à mi-hauteur l'unique note chromatique sur le ton uniforme de la texture de la maçonnerie.

Je fus chargé, au cours de l'été 1961, par l'ISMEO et le gouvernement afghan d'exécuter le relevé du minaret et de préparer un projet pour sa restauration et sa consolidation (Fig. 3). Il était en effet nécessaire d'envisager des actions indispensables pour assurer à ce monument exceptionnel, ignoré pendant des siècles par la culture officielle, des conditions de sécurité pour son maintien et en vue de sa mise en valeur.

On doit préciser d'autre part qu'étant donné la caractéristique de sa localisation et l'absence complète de voies de communication d'un parcours facile, on a connu son existence à une époque relativement récente: la première référence officielle en remonte à 1944, année au cours de laquelle Ahmed Ali Kozad, président de la Société d'histoire afghane, publia en mai dans le journal *Anis* la nouvelle de la découverte qu'il avait eue du gouverneur de Hérat A.K. Malekiar.

On organisa à plusieurs reprises les années suivantes des expéditions de recherche pour localiser le minaret mais, à cause de l'ampleur et de la difficulté du territoire, elles échouèrent; il en fut ainsi de l'expédition de 1952 qui vit deux membres de la DAFA arriver jusqu'à Cisht. Enfin le 18 août 1957, André Maricq, chercheur du CNRS, arriva jusqu'au minaret et en 1958 sa découverte et son identification furent l'objet d'une communication à l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres.

En septembre 1961, je fis les premiers relevés et des vérifications concernant les conditions de stabilité du minaret et des hypothèses pour sa récupération. La situation apparaissait préoccupante à cause de l'érosion continue produite par l'Hari-Rud, un des cours d'eau à régime torrentiel qui parcourt la vallée: le minaret présentait une inclinaison sensible due à l'affaiblissement du terrain sous-jacent, ce qui pouvait causer un risque pour les fondations elles-mêmes. D'autres difficultés s'opposaient à la réalisation rapide d'interventions même sommaires: à l'époque le site ne pouvait être atteint, et avec difficultés, qu'à pied ou à cheval et je ne disposais ni de l'aide ni de moyens techniques appropriés.

Je retournai plusieurs fois en Afghanistan les années suivantes, également pour d'autres travaux, et il me fut ainsi possible de continuer mes recherches, même si l'intervention, demandant nécessairement

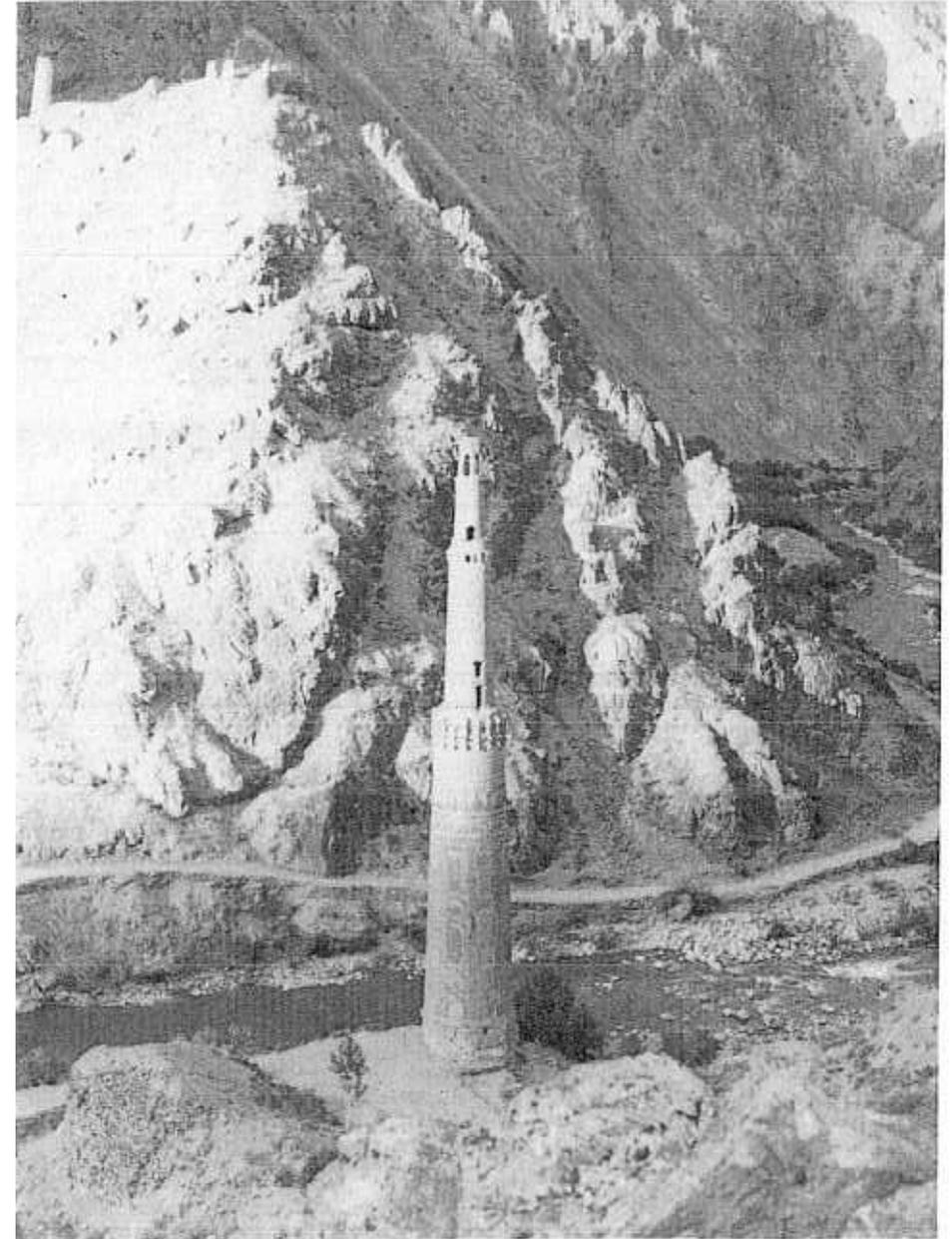
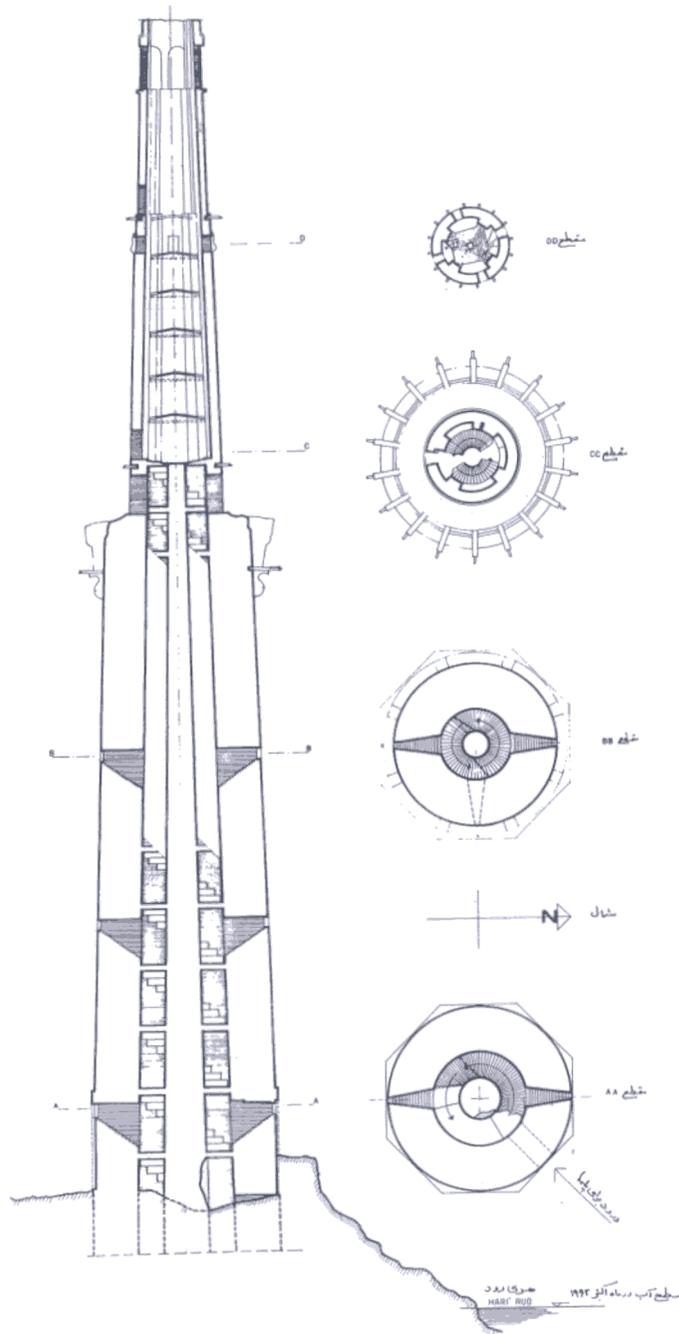


FIG. 2. (en face) Le minaret de Jam.



l'examen et l'analyse préalable d'un grand nombre de données, ne pouvait être envisagée et menée à terme rapidement.

En août 1963 on exécuta, en collaboration avec les habitants du village voisin de Jam, une intervention provisoire, la construction d'une digue en pierre et bois qui est encore aujourd'hui la seule protection réalisée (Fig. 4).

L'année suivante en juin, on décida un programme d'opérations qui prévoyait: l'analyse des échantillons de brique et d'émail, des essais sur le terrain des fondations, la consolidation statique à l'aide de pieux-racines, la restauration de la maçonnerie et des ornements, l'exécution de recherches archéologiques dans la zone entourant le monument.

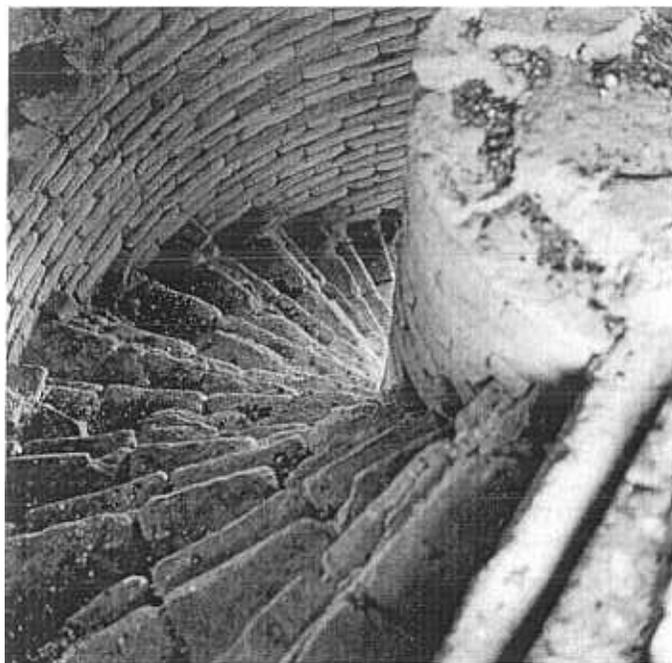
La complexité des problèmes liés à la sauvegarde du minaret et des difficultés de diverse nature ne permirent pas de réaliser ce programme dans un délai rapide.

Au cours de ces dernières années seulement, grâce en partie à l'ouverture d'une route carrossable, le problème de la restauration a pris une dimension plus précise et rencontré des possibilités réelles de mise en œuvre.

Une décision, qui parut alors décisive, fut prise en 1974. L'Unesco, à la



FIG. 5A. Détails des escaliers hélicoïdaux.



demande du gouvernement afghan, me chargea en tant que consultant d'approfondir l'étude du projet de restauration donnant l'appui financier nécessaire.

Sur cette base, on élaborera un projet accompagné d'un programme de vérifications approfondies pour une meilleure connaissance des données archéologiques et géologiques relatives également aux environs immédiats du minaret où des essais préliminaires avaient confirmé l'hypothèse de l'existence de restes d'une ligne de fortifications.

Une intervention d'urgence fut immédiatement décidée et financée par l'Unesco: les travaux pour l'exécution d'une digue de gabions métalliques remplis de pierres trouvées dans le site même étaient nécessaires pour pouvoir procéder à des essais directs sur les fondations et à l'enlèvement des éboulis qui recouvrent la base du minaret. Ces travaux auraient dû être finis en peu de temps mais les changements de la situation politique en ont empêché l'accomplissement.

Depuis lors tout l'ensemble des travaux prévus par le projet a été interrompu, et on le présente ici confiant que l'on trouve rapidement la voie qui porte à sa complète réalisation.

Avant de présenter quelques données succinctes sur les caractéristiques

FIG. 5B. Détails des escaliers hélicoïdaux.



du projet et plus généralement sur la problématique de l'intervention, je voudrais décrire brièvement le minaret.

Le minaret a une hauteur environ 70 m, une base à plan circulaire de 10 m de diamètre qui se développe en tronc de cône jusqu'à une hauteur de 40 m; à partir de cette hauteur la section circulaire se réduit à un diamètre de 8 m, ce qui permettait l'usage d'un balcon extérieur; à partir de ce point le minaret se développe de nouveau en tronc de cône jusqu'au sommet. La section du minaret, circulaire et vide dans toute sa hauteur, présente dans le premier tronc de 40 m et sur une hauteur ultérieure de 3 m un élément de maçonnerie pleine autour duquel s'élèvent deux escaliers hélicoïdaux (*Fig. 5 a et b*).

La réalisation de l'intervention proposée comporte, comme on l'a déjà dit, l'examen d'un grand nombre de données et d'éléments à analyser relatifs soit à la structure elle-même, soit aux conditions réelles du terrain sous-jacent et de l'orographie de l'environnement.

On doit tenir compte en outre des faits suivants:

1. L'absence d'une recherche archéologique poussée de la zone et des restes de constructions, apparents ou enterrés, ne permet pas une

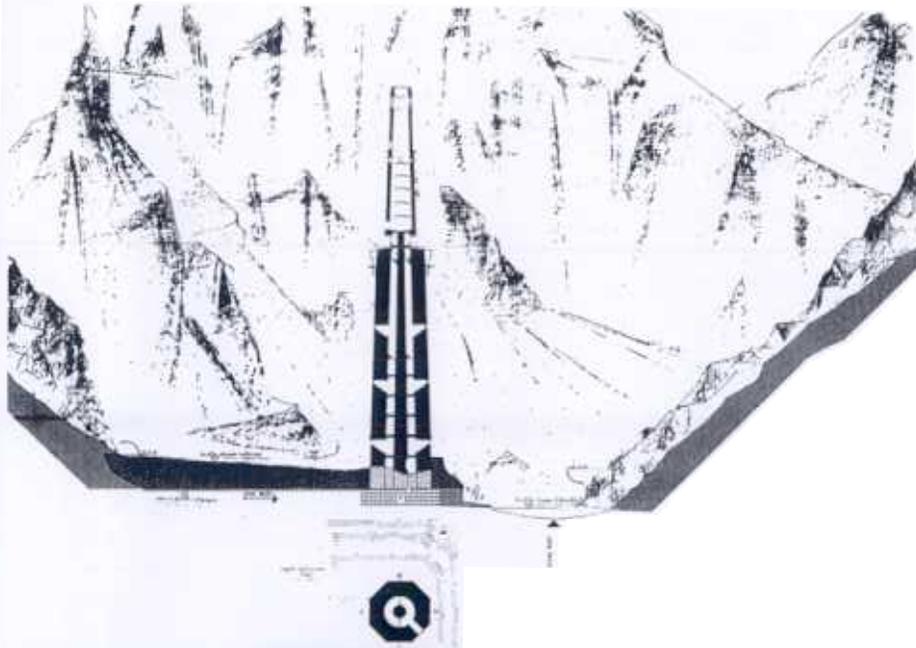


FIG. 6. Section de la vallée de l'Hari Rud avec indication de la stratigraphie probable.

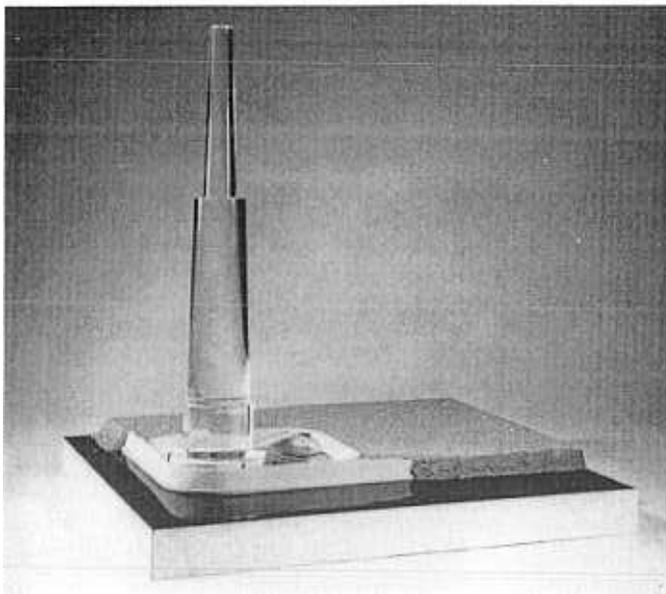


FIG. 7. Le modèle de Perspex réalisé en studio.

identification approfondée du site et de la signification historique du monument; il est donc nécessaire d'effectuer une précise analyse stratigraphique du terrain sur lequel s'élève le minaret (Fig. 6).

2. La mise en œuvre des travaux est conditionnée par les difficultés d'implantation d'un chantier et de transport des équipements nécessaires.
3. Les restrictions imposées par la situation géographique et le climat permettent de travailler seulement quelques mois par an.
4. La zone présente un degré de sismicité qui ne peut être négligé dans l'étude de l'intervention de consolidation.

Le projet prévoit, pour la stabilisation de la structure dans sa position inclinée actuelle, la réalisation autour des fondations d'un anneau de béton armé relié d'une façon élastique à un élément équilibrant réalisé au moyen d'un bassin également en béton armé, lesté de l'eau de la rivière et dessiné de façon à équilibrer, en la contenant, toute augmentation éventuelle de l'inclinaison du minaret. Les dessins du projet et les photographies du modèle réalisé en studio expliquent le critère choisi (Figs 7 et 8).

L'hypothèse de ce projet a été vérifiée avec une étude de la situation statique de l'ensemble du minaret systématisée à l'aide d'un élaborateur électronique VM 370 de l'Institut du CNR de Pise. Le calcul automatique des fréquences de la structure a été fait en appliquant le programme 'Structural Design Language' du MIT.

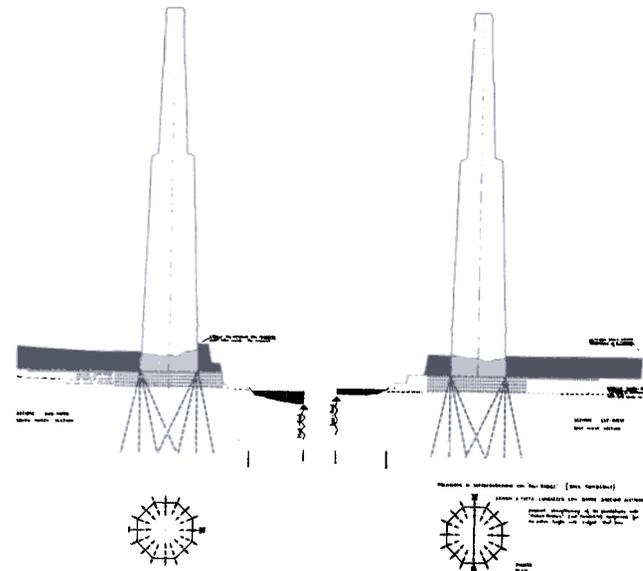


FIG. 8. Première hypothèse de consolidation avec emploi de pieux-racines.

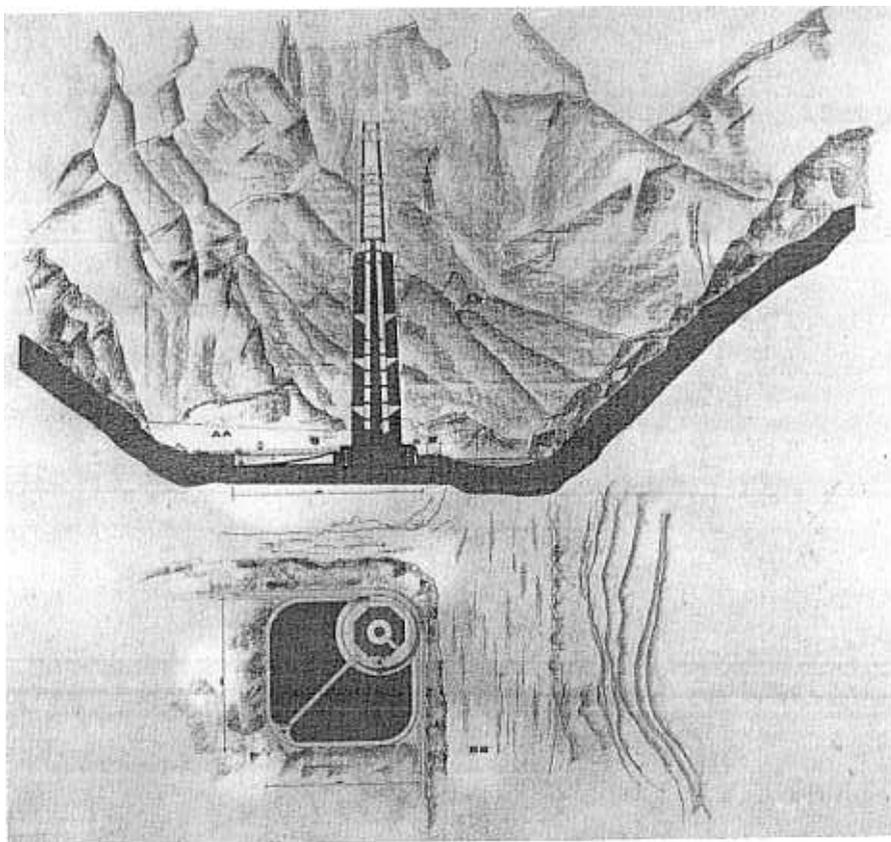


FIG. 9. Projet de consolidation au moyen de la construction d'un bassin équilibrant relié de façon élastique à la base du minaret.

La réponse à l'intuition du projet d'un bassin de ceinture avec une liaison élastique à la base du minaret s'est vérifiée de façon positive.

En ordre de priorité, les opérations suivantes seront effectuées:

1. Mise en place des gabions métalliques.
2. Essais autour de la base du minaret destinés à connaître les dimensions et les caractéristiques du système de fondation. Au cours de l'opération on dégagera l'entrée primitive du minaret actuellement enfouie sous un glissement de terrain.
3. Essais dans un rayon d'environ 40 m autour du minaret pour une étude stratigraphique qui permette, du point de vue archéologique, la

découverte d'éventuels restes, actuellement non visibles, qui pourrait amener la modification partielle du projet prévu d'intervention.

4. Contrôle et mesures constantes de débits et variations de niveau des cours d'eau par rapport à la fondation du minaret.
5. Consolidation de la base grâce à la restauration des parties lézardées.
6. Réalisation de l'anneau en béton armé dont les dimensions seront calculées en fonction des essais faits sur les fondations.
7. Achèvement du système prévu pour la consolidation et l'équilibre de la structure par la construction d'un bassin équilibrant (Fig. 9).

Les critères généraux qui ont guidé l'analyse et le projet sont fondés sur la conviction que, outre le témoignage historique de grande valeur et la signification évocatrice du monument, seul magnifique survivant d'un ensemble de constructions destinées à la défense de la vallée, l'intervention doit être évidente et clairement lisible. Ceci est nécessaire, afin de témoigner, après tant de siècles de silence et dans le respect complet de l'originalité de la construction, l'activité d'une époque, la nôtre, dans laquelle on utilise connaissance et moyens techniques pour transmettre au futur le symbole d'une civilisation qui a désormais disparu.

La solution proposée ne compromet pas de toutes façons la possibilité d'un choix alternatif: au cas où l'on préférerait cacher la structure de soutien, le bassin pourrait être recouvert de terre et l'on rétablirait ainsi visuellement la situation des environs immédiats du minaret telle qu'elle apparaît avant l'intervention.

Summary

Jam's minaret is situated in the centre of Afghanistan, 1900 m above sea level and at the intersection of two canyon-like river valleys. The area is surrounded by mountain ranges up to 2300 m in height. The Sultan Ghiyath al'din Muhammed Ibn Sam was responsible for its construction between 1163 and 1202 AD. The whole building is of brickwork bonded with mortar, and it is characterized by its monochrome surface decoration, as well as by its fine geometrical reliefs. These are integrated by coloured kufic lettering made of glazed bricks, which stand out against the uniform texture of the masonry background. The minaret is almost 70 m high and 10 m in diameter on plan. It tapers in stages, following a truncated cone section, and there is an accessible gallery at the point where the diameter has reduced to 8 m.

In 1961 the author was engaged by ISMEO and the Afghan government to undertake a measured drawing of the minaret, and he subsequently proposed it should be restored. In order to do this it was necessary to make an accurate assessment of the results of a number of analyses and facts that had been collected.

As the minaret was markedly leaning towards the main stream below the Hari-Rud, a temporary dam was built in 1963 with the help of Jam's nearest villagers, and this construction of stone and timber is still protecting the minaret. In the following year a work programme was agreed, and in 1974 Unesco engaged the author to make a further study following a request from the Afghan government. As a first step, Unesco financed a necessary precautionary measure in 1978, consisting of the placing of large metal cages filled with the plentiful local stone around the monument in order to contain the surrounding water.

In order to stabilize the minaret in its present leaning position, the project foresees the construction of a reinforced concrete ring beam as a retaining wall around the foundations. This will be connected with a counterbalancing basin also made of reinforced concrete, which will be filled with water and ballast from nearby rivers and adequately dimensioned to counteract any increase in the minaret's angle of inclination. The following operations will be undertaken according to priority:

1. Placing the metal cages in position on the site.
2. Sample tests around the base of the minaret to find out the dimensions of the foundations and their structural characteristics. During this phase the original entrance to the minaret, now covered by a landslide, is expected to be revealed.
3. Within an approximate radius of 40 m around the minaret, sample stratigraphic tests will be taken. This will facilitate the possible reconstruction of the archaeological ruins and its results may modify the restoration programme.
4. Continuous measurements will be taken to control the amount of water flowing around the minaret in relation to the height of the base of its foundations.
5. The minaret's base will be consolidated by filling in and repairing the broken parts.
6. Erecting the reinforced concrete ring beam, following the results of the foundation tests.
7. Completing the programme to consolidate and counterbalance the structures by building the balancing basin.

Resumen

El minarete de Jam se halla situado en el centro de Afganistán, a 1900 m sobre el nivel del mar, en la precisa intersección de dos valles en forma de tajo y de sus respectivos ríos. La zona está rodeada de serranías que llegan a 2300 m de altura. El sultán Ghiyath al-din Muhammed Ibn Sam lo mandó construir entre 1163 y 1202 AD. Todo el edificio se construyó de ladrillo y argamasa. Lo caracterizan su ornamentación monocroma en la parte superior, así como los hermosos relieves creados por los excelentes artesanos que obtuvieron complicados dibujos geométricos. Están formados por letras cúficas en colores por medio de azulejos, que a media altura del minarete se convierten en el único detalle en color que destaca del aspecto uniforme del fondo de mampostería.

El minarete, que tiene casi 70 m de altura, tiene una planta circular de 10 m de diámetro. Esta anchura permitía que se pudiese andar por el balcón exterior. Después, siguiendo la forma de cono truncado, el edificio se va estrechando continuamente.

En septiembre de 1961, el autor fue contratado por el ISMEO y el gobierno afgano para realizar un dibujo a escala del minarete. Dicho arquitecto propuso después que se llevase a cabo una restauración adecuada.

Los trabajos de restauración exigían una evaluación precisa de gran cantidad de datos concretos y análisis, que no podían emprenderse en seguida (en aquella época, llegar a su emplazamiento resultaba una ardua tarea que había que realizar a pie o a caballo).

En agosto de 1963, para contrarrestar el peligro de la inestabilidad estructural del edificio (el minarete se

inclinaba señaladamente hacia las aguas al pie del Hari-Rud), se construyó un dique provisional con la ayuda de los habitantes del pueblo cercano. Esta obra, de piedra y madera, es la única que todavía sobrevive para proteger el minarete.

En junio del año siguiente, se evaluó un programa de obras y en 1974, como resultado de una solicitud por parte del gobierno afgano, la Unesco encargó al arquitecto consultor Andrea Bruno que estudiara más a fondo el proyecto de restauración. Como primer paso para alcanzar el programa del proyecto, en el verano de 1978 la Unesco financió una medida de precaución necesaria. Los trabajos, consistían en la colocación de grandes jaulas metálicas llenas de la abundante piedra de sillería local, a fin de contener las aguas circundantes.

A fin de estabilizar el edificio existente en su actual posición inclinada, el proyecto prevé la construcción de un baluarte circular de hormigón armado que rodee los cimientos y que esté unido elásticamente a un cubo equilibrador hecho también de hormigón armado. Este se llenará con la propia agua y lastre procedente de los ríos adyacentes, en la proporción adecuada para contrarrestar cualquier aumento del ángulo de inclinación del minarete. Los dibujos del proyecto y las fotografías de la maqueta muestran los métodos empleados para todo esto.

Se llevará a cabo la siguiente lista de operaciones, según la escala de prioridades:

1. Colocación de las jaulas de metal en sus emplazamientos.
2. Pruebas seleccionadas alrededor de la base del minarete para averiguar las dimensiones de los cimientos y sus características estructurales. Durante esta fase, se pondrá al descubierto la entrada original del minarete, ahora cubierta por un corrimiento de tierras.
3. Se llevarán a cabo pruebas estratigráficas selectas en un radio aproximado de 40 m alrededor del minarete. Esto permitirá reconstruir las ruinas arqueológicas, con el resultado de que acaso tenga que modificarse parcialmente el programa de restauración.
4. Se efectuarán mediciones continuas para mantener un control constante de la cantidad de agua que fluye alrededor del minarete en relación a la altura de la base de los cimientos.
5. Se consolidará la base del minarete rellenando y reparando las partes dañadas.
6. Erección del baluarte circular de hormigón armado, de acuerdo con los resultados de la pruebas de los cimientos sobre el terreno.
7. Finalización del programa de consolidación y equilibrio de la estructuras mediante la construcción del cubo equilibrante.