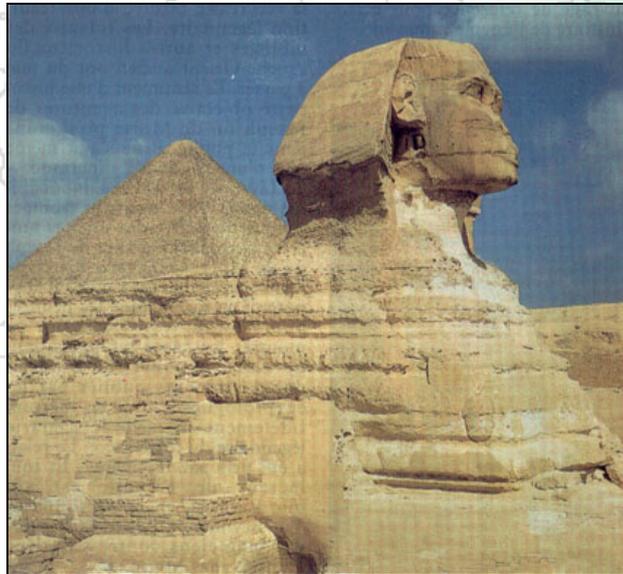


## 6<sup>ème</sup> CONGRES EUROPEEN DE SCIENCE DES SYSTEMES PARIS 2005

Atelier  
"Nouvelles formes d'expression de la systémique"

Communication de Pierre CROZAT ©



« SYSTEME CONSTRUCTIF DES PYRAMIDES »

PARIS, 2005

---

19 - 22 septembre 2005

## Table des Matières

Résumé.....	1
Introduction.....	3
Une recherche scientifique, technique et opératoire.....	4
Le procédé d'accroissement pyramidal.....	5
Provenance des matériaux.....	11
Continuum technique.....	13
Conclusion.....	14
Notes.....	15

## Illustrations

Figure 1 : Possibles rampes proposées dans les théories rampistes.....	3
Figure 2 : Possibles machines proposées dans les théories machinistes.....	3
Figure 3 : Simulation de la rampe frontale dans le site.....	3
Figure 4 : bras de levier sur trépied proposé par J.P. Adam, si le principe et l'échelle semblent juste, le contre-poids pourrait être constitué d'ouvriers "vivants" servant de poids mort !.....	4
Figure 5 : Les trois pyramides lisses sur le plateau de Gizeh sont situées au milieu des carrières d'où proviennent les matériaux avec lesquels elles furent construites.....	5
Figure 6 : Reconstitution du site de Gizeh, proposée par G. Goyon.....	5
Figure 7 : élever et reposer un bloc sur deux autres blocs constitue un algorithme (de Crozat).....	6
Figure 8 : modélisation au 1/10..... et au 1/3.....	7
Figure 9 : modélisation du procédé "d'accroissement pyramidal", par enveloppes successives, à partir d'un pyramidion élémentaire(4+1) au centre de la base, face par face, bloc par bloc selon l'algorithme.....	7
Figure 10 : par anticipation de la construction sur une face, on peut réaliser un faisceau de plans inclinés, un couloir, une chambre qui se retrouveront à l'intérieur de la pyramide, par la poursuite de la construction sur les quatre faces.....	7
Figure 11 : le faisceau de plans inclinés permet de mettre en place, par glissement, l'ensemble des monolithes (30T en moyenne) de la chambre du roi, des rehausses et de l'arc de décharge qui correspond au dernier plan incliné possible depuis le pied de la pyramide.....	8
Figure 12 : un extraordinaire ascenseur oblique, avec crémaillère, contre-poids(blocs tampons).....	8
Figure 13 : disposition des blocs sur l'arête S-O et sur le sommet (à remarquer les entailles).....	9
Figure 14 : restitution du sommet écrêté de Khéops et interprétation - une couleur par face - par l'auteur.....	10
Figure 15 : Mykérimos, dernière enveloppe en granit "ravalée".....	10
Figure 16 : reliquats de carrières au pied de Kephren, et à l'angle N-W de Mykérimos (ensablée).....	11
Figure 17 : schéma du double système de fracturation naturelle des roches du plateau de Gizeh.....	12
Figure 18 : photo aérienne du "temenos" de Khéops, montrant la fracturation primaire transversale (perpendiculaire à l'axe du pli) et l'exploitation de carrière des blocs de pierre selon la fracturation secondaire (diagonale par rapport à l'axe du pli).....	12
Figure 19 : cairn de Barnenez (génie religieux)..... et aire de battage de Cipierre (génie rural).....	13
Figure 20 : schéma "d'accrétion-exhaussement" d'une pyramide à degrés quelconque (type Saqqara).....	13
Figure 21 : la pyramide de Khéops photographiée de nuit (par J. Kérisel) permet d'apercevoir l'épaisseur (ombre sur l'arête) de l'enveloppe.....	14

## SYSTEME CONSTRUCTIF DES PYRAMIDES

tiré de la thèse

### « le génie des pyramides »

par Pierre Crozat <sup>1</sup>

#### **Abstract :**

*Since the time they were erected, nearly 5000 years ago, the way of construction of Egyptian Pyramids still remains today a real enigma that contemporary technologies are unable to solve. The theories that have been put forward until today by various authors are opposing to each others and could not satisfy entirely the practitioner of the Art of building. None of them has ever offered a truly scientific, technical and operative approach, not more that any element of convincing evidence.*

*In this article, we investigate the case of the Great Pyramids of the IVth dynasty, mainly the three Pyramids of Giza. We focus in particular on the Cheops'one, the most enigmatic because of its internal design, but actually and paradoxically the most revealing of the Pyramids' constructive system we present here<sup>2</sup>.*

*Following the author and in opposition with many previous interpretations, the pyramid stones do not come from "very far away in Arabia", and the building process was not achieved with the help of "lands gathering needed to haul the blocks", but by directly borrowing the plateau of Giza's surrounding materials and using a method of construction we define as "pyramidal growth".*

*In the text, we expose a way of building, based on the practical necessities such as : searching the necessary materials which defines rational choice for the settlement, using a constructive method which implies a labour organisation and rules for material supplies. These questions have their answers within the different disciplines contributing to the Art of building.*

*We define precisely a set of rules for the pyramidal constructive method. The first principle : "to make use of the surrounding stone and to stack it up into the centre"; the operative algorithm : "to lay a block on two others in a corbelled way and this, in an additive and recurrent manner"; the constructive system: "block by block, side by side, by successive covers" defining in this way the "pyramidal growth". As a consequence, this "pyramidal growth" is a necessary function of available techniques and of the dimensional characteristics of the building materials. Moreover, the building blocks and the general display of the exploitation sites are a direct consequences of the natural geological features and of the failure patterns commanded by tectonics.*

*Interestingly, this constructive system can be modelled in order to investigate its consequences. We find that it leads necessarily to "pyramid-shaped" constructions without sophisticated conceptual plans. The shape of the pyramids (its angle) is a direct function of the local display algorithm. Moreover, the corollary of the method leads to a natural interpretation of the devices found inside the Pyramid of Cheops. We show that the internal gallery system can be created by anticipation of the construction method of one face of the pyramid, with an inclination angle matching the real one. Also the Great Gallery can be interpreted in a purely utilitarian way, as an amazing oblique lift, allowing to haul up the 52 monoliths made of granite of the King's room, until 65 metres height.*

*This article, several pieces of evidence are supplied by the author. The method allows to search for a series of conclusive proofs which are to be checked "in situ" : on the plateau (analysis of stones of the deposit's natural breaking), on the pyramid (observation of the top and the edges' disposition), and inside the pyramid (examination of the inside device). On a historical point of view, we find, surprisingly, that the description provided by Herodotus<sup>3</sup>, nowadays ruled out because impenetrable, turned out to be technical, precise and accurate. It is corroborated by modelling, experimentation and observation, highlighting the observations of R. Lepsius and the intuitions of A. Choisy . Furthermore, this way of reasoning allows to situate the Great sleek Pyramids inside a "technical continuum", since the first agricultural removing stones of the Neolithic period, which is based on an universal method of construction known as "accreditation-raising" to the actual constructions still nowadays made in rural environment (shepherd's shelter, field stoning etc) . This method generates, puts in order and formalises the whole tumulus-shaped edifices, including pyramids with degrees, within the space and time.*

*This approach is innovative and predicative, consisting essentially in displaying practical questions and answers brought by the different scientific, technical and operative disciplines contributing to the "Art of building". It proposed paths of investigations which demand to be completed and checked by the international community. This work is also a rational contribution to the History of Techniques, to Egyptology and to Culture in general. It might revive the debate, or else close it, on the way of building Pyramids and allows a totally new approach to the first chapters of the history of the Art of building.*

## Résumé.....

Depuis bientôt 5000 ans qu'elles furent édifiées, le mode de construction des pyramides d'Egypte demeure, aujourd'hui encore, une véritable énigme, que les technologies contemporaines sont incapables de résoudre. Les théories avancées jusqu'à ce jour par les différents auteurs s'opposent et ne sauraient satisfaire pleinement le praticien de l'Art de bâtir. Aucune n'offre une approche véritablement scientifique, technique et opératoire, pas plus qu'un quelconque élément de preuve tangible.

Dans cet article sera développée la méthode de construction des grandes pyramides lisses de la IV<sup>ème</sup> dynastie, essentiellement les trois pyramides de Gizeh et particulièrement celle de Khéops, la plus "énigmatique" du fait de ses dispositifs intérieurs, en fait paradoxalement la plus "révélatrice" du "Système constructif des pyramides"<sup>4</sup>.

Pour l'auteur, les pierres de la pyramide ne sauraient venir "d'Arabie, de très loin" et la construction ne peut avoir été réalisée à l'aide "des levées de terre", à l'instar des écrits de Diodore de Sicile, mais en empruntant les matériaux alentour au plateau de Gizeh et en application d'une méthode de construction dite "d'accroissement pyramidal", suggérée par la "machine" dont nous parle Hérodote.

En se posant la question en praticien "si je devais construire une pyramide", alors s'enclenche un raisonnement de constructeur, basé sur la nécessité pratique : recherche des matériaux nécessaires, d'un site d'implantation, d'une méthode constructive, d'une organisation du travail, du chantier, de l'intendance. Ces questions trouvent alors leurs réponses dans les différentes disciplines qui concourent à l'Art de bâtir.

Le principe premier : "exploiter la pierre alentour et la mettre en tas au centre", le mode opératoire : "poser un bloc sur deux autres, en encorbellement, et de façon additive et récurrente", le système constructif : "bloc par bloc, face par face, par enveloppes successives" définissant ainsi "l'accroissement pyramidal", fonction par obligation des caractéristiques techniques et dimensionnelles des matériaux utilisés et donc du gisement sur place et de son mode d'exploitation, fonction lui-même du système de fracturation naturelle des roches imposée par la tectonique et la géologie. Ceci nécessitera l'invention de l'outillage adapté, à l'extraction, au bardage, à la mise en oeuvre et à l'appareillage.

Ce système constructif peut être modélisé, aujourd'hui comme hier, il permet de construire "en pyramide" dès le début et de réaliser "corollairement" l'ensemble des dispositifs intérieurs de la pyramide de Khéops, à ciel ouvert, au fur et à mesure de l'érection de l'édifice. Dispositifs qui seront ensuite englobés dans la pyramide par la poursuite de la construction sur les quatre faces. La Grande Galerie peut alors être interprétée de façon purement utilitaire, comme un "extraordinaire ascenseur oblique", permettant de hisser les 52 monolithes de granite de la chambre du Roi, jusqu'à 65 m de hauteur.

Différents éléments de preuves sont apportés par l'auteur, les preuves définitives existent, qui sont alors à rechercher et à vérifier in situ : sur le plateau (analyse de la fracturation naturelle des roches du gisement), sur la pyramide (observation de la disposition des blocs du sommet et des arêtes) et dans la pyramide (examen des dispositifs intérieurs). La description fournie par Hérodote<sup>5</sup>, aujourd'hui écartée parce qu'incomprise, s'avère technique, précise, exacte. Elle est corroborée par la modélisation, l'expérimentation et l'observation, et redonne toute leur valeur aux observations de R. Lepsius et aux intuitions de A. Choisy. Ce mode de raisonnement permet de situer les grandes pyramides lisses à l'intérieur d'un "continuum technique", dès le premier épierrement agricole du néolithique, basé sur une méthode universelle de construction dite "d'accrétion - exhaussement" qui génère, ordonne et formalise l'ensemble des édifices tumulaires, y compris les pyramides à degrés, dans le temps et dans l'espace.

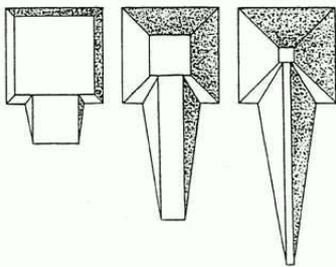
Cette approche est novatrice et prédictive, qui consiste donc, pour l'essentiel, à la mise en évidence des questions pratiques et des réponses apportées par les différentes disciplines scientifiques, techniques et opératoires, et leur mise en corrélation, au travers d'une vision généraliste, logique et cohérente de "l'Art de bâtir".

Elle demande à être complétée et vérifiée par la communauté internationale. Ce travail est un apport rationnel à l'Histoire des Techniques, à l'Égyptologie et à la Culture en général. Il devrait relancer le débat, sinon le clore, sur le mode de construction des pyramides, et permettre une re-lecture des premiers chapitres de l'histoire du Génie des Ouvrages et de l'Art de bâtir, au travers de l'étude préalable des Gisements, des Matériaux, des Techniques, des Méthodes, des Appareillages et des Outillages, facteurs génériques des Formes Architecturales

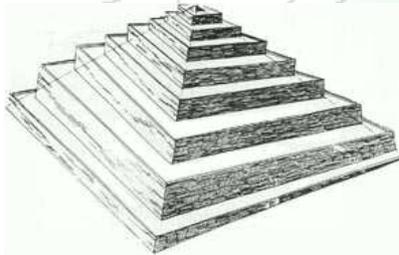
## INTRODUCTION.....

Depuis 5000 ans, le mode de construction des grandes pyramides d'Egypte demeure une énigme, et les différentes et nombreuses solutions proposées ne peuvent nous satisfaire. Les technologies modernes sont tout aussi inopérantes.

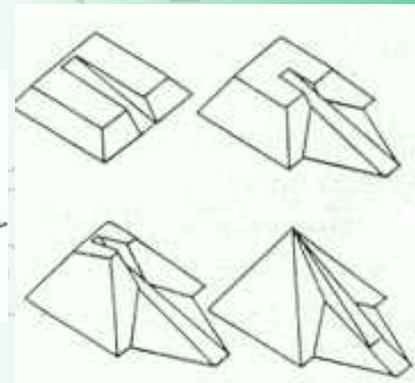
Dès l'Antiquité, deux modèles interprétatifs s'opposent : théories " machinistes " <sup>6</sup> à l'instar d'Hérodote, contre théories " rampistes " <sup>7</sup> à la suite de Diodore de Sicile <sup>8</sup>. - les théories " machinistes " se sont bornées à rechercher la " machine " capable d'élever un bloc de la hauteur d'une assise, sans envisager le "système de constructif" dans son ensemble, elles sont incapables de mettre en place les monolithes de granite qui couvrent la chambre du roi Khéops, situés entre 45 et 65m de haut dans la pyramide.



Rampe frontale

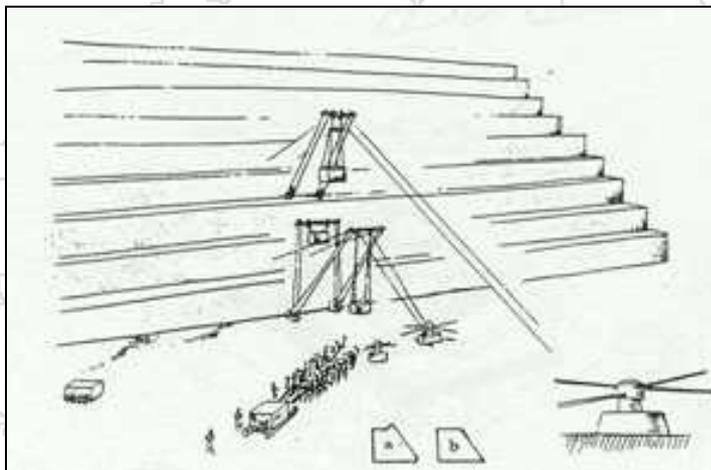


Rampe hélicoïdale

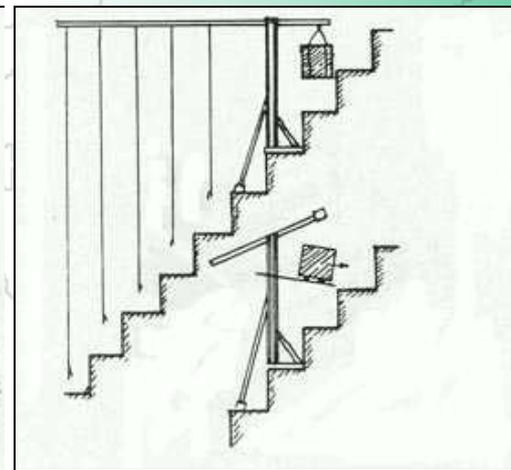


Rampe engagée

Figure 1 : Possibles rampes proposées dans les théories rampistes



Chèvre de M. Strub-Roessler



Elévateur de L. Croon

Figure 2 : Possibles machines proposées dans les théories machinistes

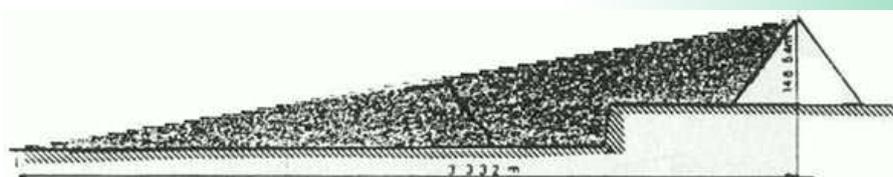


Figure 3 : Simulation de la rampe frontale dans le site

Aucune de ces théories ne donne pleinement satisfaction à l'architecte - ingénieur praticien - car avant d'être "objet" d'archéologie et d'égyptologie, le "sujet" relève avant tout, par essence, de la Construction, Génie civil et Architecture dont les logiques demeurent immuables : économie d'effort et de moyens, évolutivité technologique et structuration des tâches.

- d'une part, il ne peut admettre les solutions " rampistes " ou "mixtes"<sup>9</sup> par trop contraire de l'Art de bâtir. Il refusera, et la provenance éloignée des matériaux, et le principe d'un quelconque ouvrage annexe, et la banalisation des tâches, que supposent ces théories ;
- d'autre part, si tout un chacun admet possible l'utilisation d'un levier, les théories "machinistes" demeurent par trop embryonnaires.

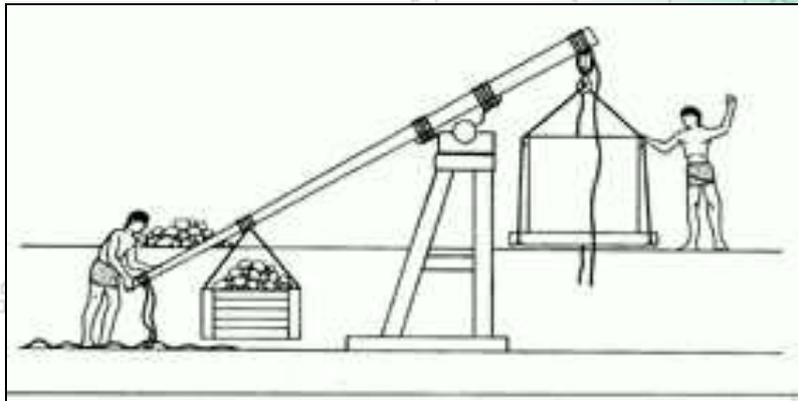


Figure 4 : bras de levier sur trépied proposé par J.P. Adam, si le principe et l'échelle semblent juste, le contre-poids pourrait être constitué d'ouvriers "vivants" servant de poids mort !

- les théories " rampistes " proposent de hisser par glissement sur une rampe ou " levée de terre " , les monolithes et l'ensemble des matériaux nécessaires. Cet ouvrage annexe, qu'il faudra ensuite faire disparaître, nécessitera plus de travail que la pyramide elle-même.
- une troisième famille de théories "mixtes" propose de réaliser une rampe jusqu'au niveau de la chambre du roi puis d'utiliser un levier.

## UNE RECHERCHE « scientifique, technique et opératoire »

La présente recherche est réputée scientifique dans sa méthodologie, technique dans son domaine d'application et opératoire dans la détermination des gestes et des outils.

Elle s'inscrit dans la suite des théories « machinistes », s'attachant à développer le "système constructif" dans son ensemble - ce qui est novateur - le tout assemblé en un raisonnement logique et cohérent.

Elle repose sur les connaissances enseignées et les savoir-faire pratiques, sur la référence à modèle "original interactif et prédictif" et sur la vérification par l'observation archéologique de l'ouvrage et de son environnement, in situ.

Elle repose sur trois postulats fondamentaux :

- les matériaux de gros oeuvre sont pris sur place, au plateau de Gizeh selon le principe "exploiter alentour pour foisonner au centre", les monolithes de granite provenant d'Assouan à 850 km en amont sur le Nil ;
- la méthode de construction est obligatoirement simple, efficace, répétitive et économe en travail, basée sur le principe "toujours construire sur ce qu'on vient de construire";
- l'outillage doit être simple d'utilisation et facile à réaliser, dans le contexte technologique de l'époque<sup>10</sup>.

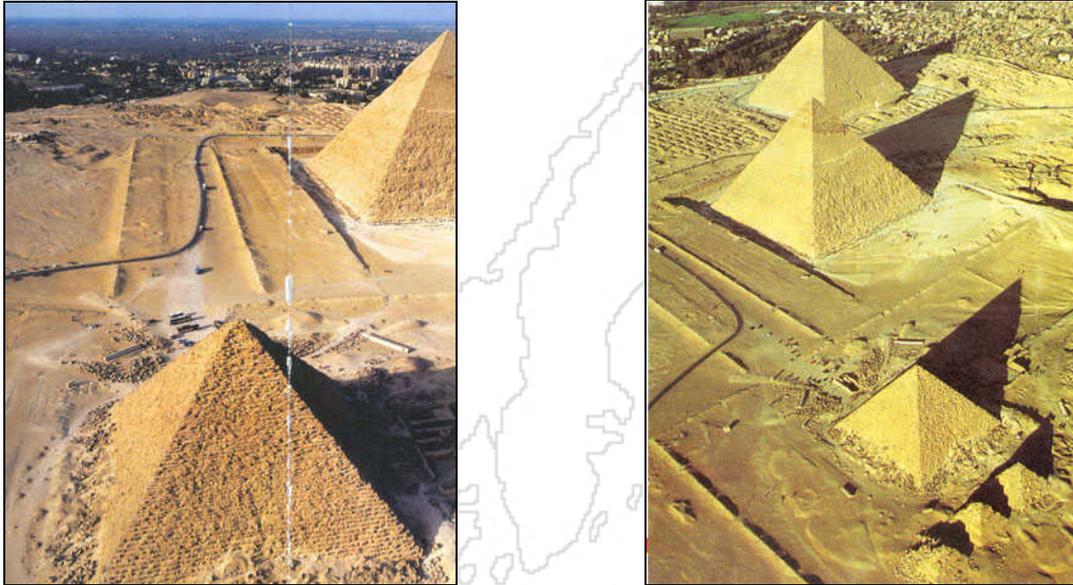


Figure 5 : Les trois pyramides lisses sur le plateau de Gizeh sont situées au milieu des carrières d'où proviennent les matériaux avec lesquels elles furent construites.

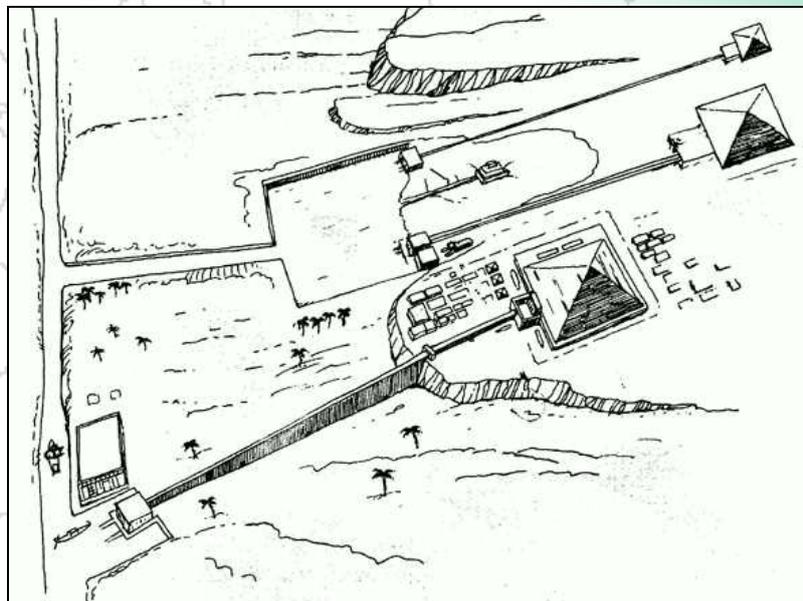


Figure 6 : Reconstitution du site de Gizeh, proposée par G. Goyon.

## LE PROCÉDÉ « d'accroissement pyramidal »

Préalablement, il convient d'observer un "distinguo" entre les blocs de calcaire (de 2,5 tonnes en moyenne) qui constituent le massif de gros oeuvre de la pyramide d'une part, et d'autre part les 52 monolithes de granite (de 30 tonnes en moyenne) qui couvrent la chambre du roi. En

toute logique, ces deux types de blocs ne peuvent être mis en oeuvre selon la même technique de transport-levage :

- les premiers sont soulevés d'une assise sur l'autre à l'aide d'une simple "machine" de bois : un levier sur un trépied, générant un système en escalier,
- les seconds doivent être hissés par glissement sur des plans inclinés qui seront réalisés, au moment opportun, par anticipation de la construction sur la face nord, en application du système,
- enfin, une troisième sorte de pierre - calcaire ou granite - constituant la dernière enveloppe, posée selon le système et ensuite ravalée.

La méthode de construction est un véritable "système constructif" dit "procédé d'accroissement pyramidal", basé sur :

- un mouvement élémentaire d'un bloc calcaire de 2,5 t consistant à :
- élever de la hauteur d'une assise - soit en moyenne 0,7 m - à l'aide d'une machine de bois : un levier sur un trépied
- et poser en recouvrement sur deux autres blocs préalables
- sans oublier de le décaler, en "encorbellement" du coté interne correspondant à un "entablement" coté externe de l'édifice

Cette disposition est classique de l'appareillage à joints croisés, dans les deux directions, ce qui assure la meilleure cohérence de l'édifice. Elle nécessite néanmoins une suggestion d'assise de chaque bloc qui, nous le verrons par la suite, ne sont pas réguliers.

- la répétition de ce mouvement récurrent, bloc après bloc, en escalier, face par face,
- générant des couches - enveloppes successives, emboîtées les unes sur les autres, à partir d'un pyramidion au centre de la base
- permettant d'accroître la pyramide par homothétie, par simple répétition additive.



Figure 7 : élever et reposer un bloc sur deux autres blocs constitue un algorithme (de Crozat)



Figure 8 : modélisation au 1/10

et au 1/3

Ce procédé est aisément modélisable, hier comme aujourd'hui, avec des éléments plus ou moins standardisés : briques, morceaux de sucre - en fait issu de la modélisation -, le mouvement élémentaire représentant un algorithme. Ce modèle qui "ne génère que de la pyramide" est de plus interactif et prédictif<sup>11</sup>.

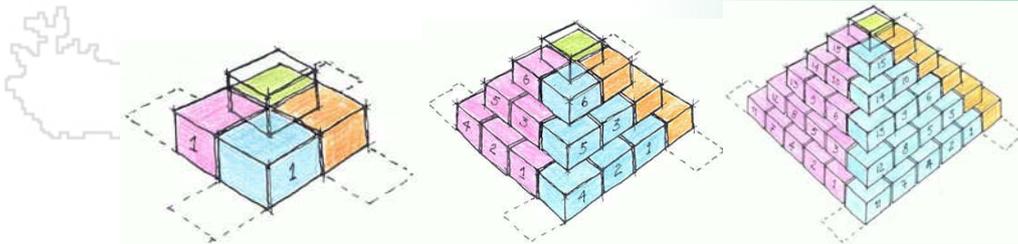


Figure 9 : modélisation du procédé "d'accroissement pyramidal", par enveloppes successives, à partir d'un pyramidion élémentaire(4+1) au centre de la base, face par face, bloc par bloc selon l'algorithme

Le modèle est interactif :

- le procédé permet de réaliser au fur et à mesure de l'érection de la pyramide, l'ensemble des dispositifs intérieurs de la pyramide de Khéops : chambres, couloirs (horizontal, ascendant et descendant), Grande Galerie et conduits de ventilation, leurs formes et emplacements étant corollaires du système.
- par anticipation de la construction sur la face nord, on réalise un plan incliné et tout un faisceau de plans inclinés parallèles et superposés dans lequel, au moment opportun, on peut ménager un couloir et/ou galerie.
- les monolithes de granite (et de calcaire) de la chambre du roi seront alors hissés par glissement, à ciel ouvert, sur ce faisceau, le couloir ascendant et la grande Galerie en sont les témoins archéologiques.

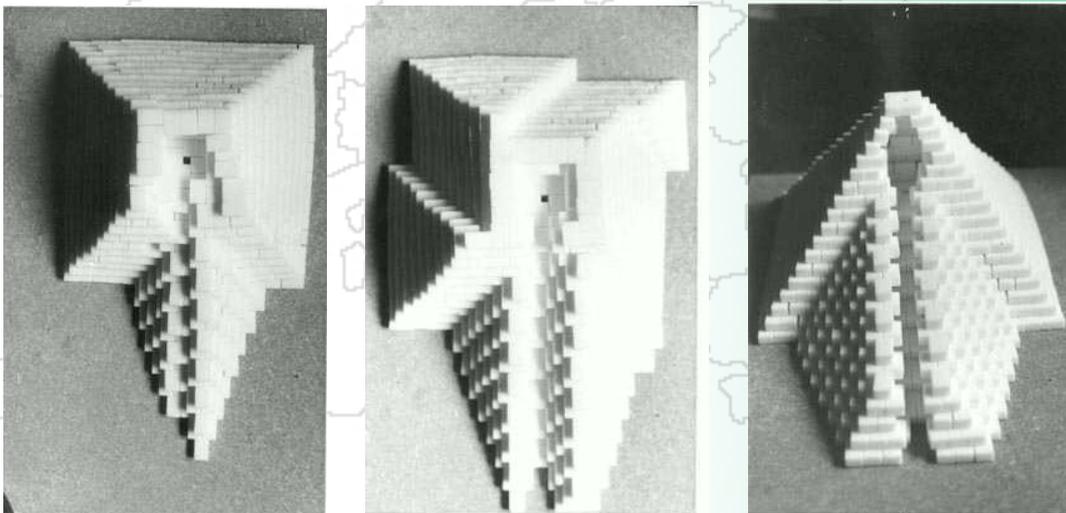


Figure 10 : par anticipation de la construction sur une face, on peut réaliser un faisceau de plans inclinés, un couloir, une chambre qui se retrouveront à l'intérieur de la pyramide, par la poursuite de la construction sur les quatre faces

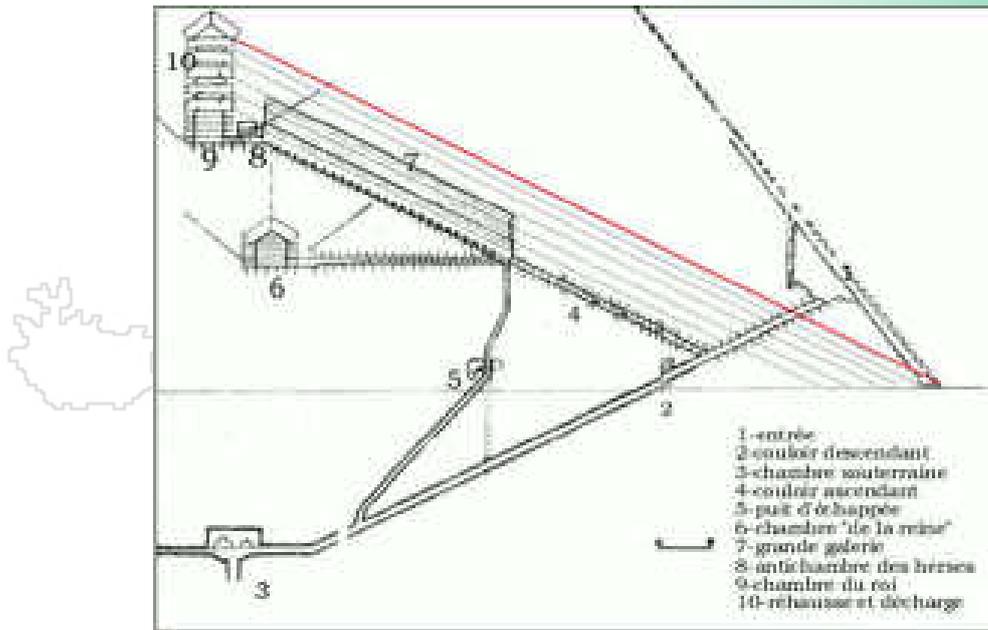


Figure 11 : le faisceau de plans inclinés permet de mettre en place, par glissement, l'ensemble des monolithes (30T en moyenne) de la chambre du roi, des rehausse et de l'arc de décharge qui correspond au dernier plan incliné possible depuis le pied de la pyramide.

- la Grande Galerie, dans son profil : glissière centrale et banquettes latérales, mortaises régulièrement disposées tout au long formant "crémaillère", et les 5 ou 6 futurs blocs-tampons<sup>12</sup> de granite qui, additionnés (5 de 6 tonnes chacun) serviront de contrepoids, doit être comprise comme un "extraordinaire ascenseur oblique", ayant permis de hisser- par équilibre des forces- l'ensemble des monolithes formant la chambre du roi et les arcs de décharge .

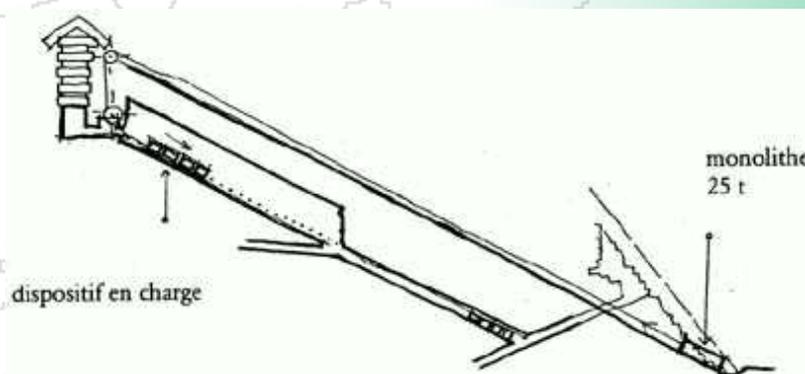


Figure 12 : un extraordinaire ascenseur oblique, avec crémaillère, contre-poids(blocs tampons)

- ces monolithes de granite<sup>13</sup> constituent un système de rehausse dans le but de porter l'arc de décharge en calcaire (sollicité à la compression), à la bonne hauteur afin que la descente de charge ne pousse pas au vide de la Grande Galerie, mettant ainsi en péril l'équilibre et la pérennité de ce dispositif<sup>14</sup> .
- l'ensemble de ces dispositifs seront ensuite englobés dans la pyramide par la poursuite de la construction sur les quatre faces.

Le modèle est prédictif et vérifiable, il impose que :

- les monolithes de cet arc de décharge soient les derniers à pouvoir être mis en place par le faisceau de rampes et l'ascenseur, ils correspondent d'ailleurs au dernier plan

incliné qu'il est possible d'inclure dans la pyramides, la parallèle au couloir ascendant tirée du pied de la pyramide en est la vérification.

- l'angle de pente de la pyramide étant donné, l'angle du couloir ascendant est corollaire, imposé par le recouvrement<sup>15</sup>, (1/3 et 2/3) des blocs. Pour une pente de  $\text{tg } \alpha = 1.25$ , ce qui est le cas de Kheops, l'angle  $\beta$  du couloir ascendant est alors tel que  $\text{tg } \beta = 1/2$ , ce qui semble bien être vérifié..
- les blocs d'assises (de proportion moyenne de deux coudées sur trois) soient posés en boutisse sur chacune des faces de la pyramide, il en résulte donc que chaque arête appartient à l'une des faces et que les blocs d'angles ne peuvent pas être croisés), ils sont alors facile à pousser au vide, ce qui est le cas. Cette disposition imposée est vérifiée.

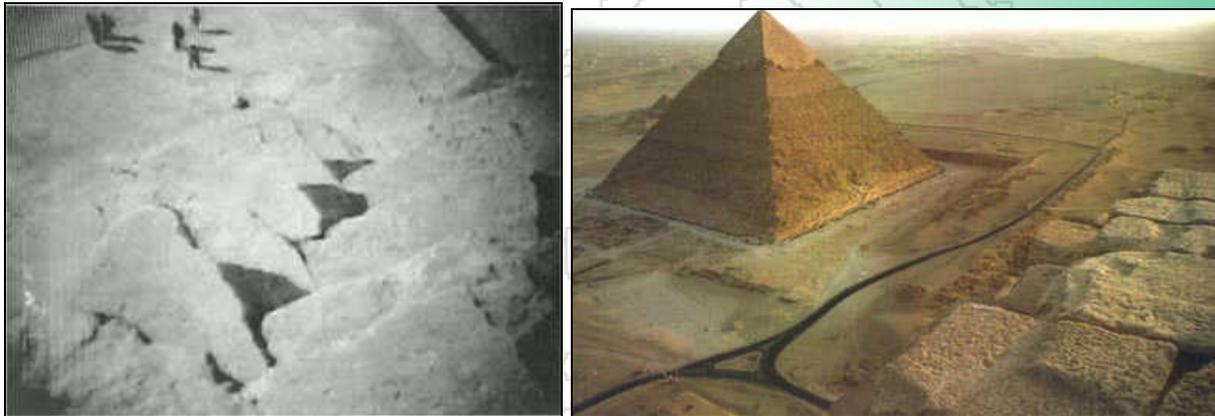


Figure 13 : disposition des blocs sur l'arête S-O et sur le sommet (à remarquer les entailles)

- la juxtaposition et superposition de blocs de hauteur différentes impose à chaque bloc mis en place définitivement - quand il change d'appellation - de lui restituer, par entaille du bloc inférieur, une assise horizontale et plane, pour le bon ordonnancement et la bonne descente des charges, et donc la pérennité de l'ouvrage. Ces entailles sont visibles sur les assises de la pyramide, et particulièrement repérables sur les arêtes et sur le sommet de la pyramide. Elles constituent même un mode connu d'appareillage cyclopéen de pierres "appareil horizontal à décrochement" qualifié "d'appareillage le plus économique" par A. Choisy<sup>16</sup>.
- la disposition en boutisse et le recouvrement des blocs sur le sommet écrêté de la pyramide de Khéops semble bien être aussi vérifiée par la restitution optique "caméra lucida" fournie par E.W. Lane en 1827. Il est dès lors possible de notifier l'appartenance de chacun des blocs du sommet

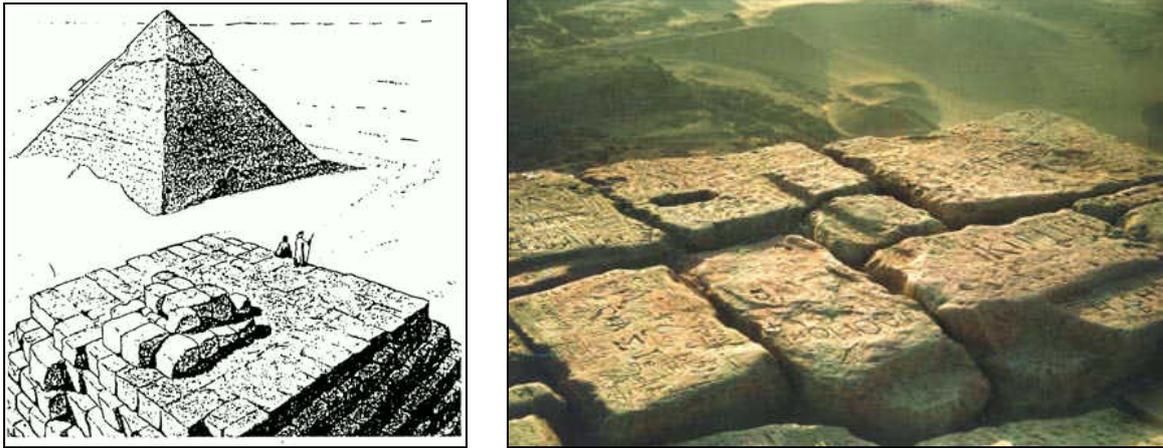


Figure 14 : restitution du sommet écrêté de Khéops et interprétation - une couleur par face - par l'auteur

Finally, the pyramid will be covered with a last envelope, made in the same way - of fine limestone, granite or stone of the same origin - which will then be raveled, by removing the top of the courses, "the pyramid will then be finished, beginning from the top" - said Herodotus - since this raveling executed in reverse, from top to bottom, will have made disappear all the entablatures on which rests the tripod. It is then impossible to add any block to the edifice.



Figure 15 : Mykérinos, dernière enveloppe en granit "ravalée".

## **HÉRODOTE avait raison**

In fact, the whole of the description of the mode of construction of the pyramid of Khéops by Herodotus - l' Enquête - Livre II- Articles 124 et 125 , remained hermetic until then, is elucidated and corroborated by this work of scientific, technical and operative research. The technical Greek terms of "bomides"<sup>17</sup> and "crossai"<sup>18</sup> are definitively explained, respectively " stone serving as support - forming entablature " and " stone forming the staircase - placed in overhang ", each block will be called "crossai" when it gravitates the staircase and "bomides" once placed at its place serving then as support to the "crossai" following.

The pharaoh Khéops was well and in his sarcophagus, always in place in the king's chamber, where he was found by the caliph Al Mamoun in 827, after having discovered the departure of the ascending passage hidden - before it falls - by a stone of facing intended for this purpose, included in the clothing of the descending passage.

The legend reported, twice, by Herodotus according to which Khéops would have been buried under his pyramid (and not in his pyramid), "on an island surrounded by water", had for purpose

que de leurrer les pilleurs de tombes, ce qui à l'évidence à fonctionné durant 35 siècles ! Hérodote avait néanmoins pris la précaution du " on dit ".

En fait l'explication rapportée par Hérodote contenait la solution depuis 25 siècles, que les égyptologues-archéologues attendaient d'un texte hiéroglyphique ou d'une découverte fortuite. La traduction que nous proposons devra néanmoins être vérifiée.

## PROVENANCE des MATÉRIAUX

Les blocs de calcaire constituant le massif de gros oeuvre, selon notre postulat sont empruntés au plateau de Gizeh, alentour et au plus près, par exploitation directe des strates horizontales du plateau :

- la vérification de la concordance de la pierre du plateau de Gizeh (calcaire lutécien-éocène moyen - à nummulites) et des trois grandes pyramides et le repérage par vue aérienne des zones d'emprunt sont aisés.



Figure 16 : reliquats de carrières au pied de Kephren, et à l'angle N-W de Mykérinos (ensablée)

- les reliquats de carrières sont visibles au pied de Khephren et de Mykérinos <sup>19</sup> (ensablés). Du point de vue géologique, le plateau de Gizeh est constitué d'un calcaire spécifique - Eocène moyen à Nummulites - qui n'affleure pas ailleurs (sauf sous le vieux Caire). Il forme un léger pli anticlinal, par déformation tectonique, ayant bien évidemment occasionné un système (double) de fracturation naturelle de la roche, que l'on peut analyser <sup>20</sup>:
  - un premier système de fracturations larges (diaclasses ouvertes et failles, très facilement repérable) parallèle et perpendiculaire à l'axe du pli tectonique, dû à la flexion,
  - un second système sub-orthogonal de fracturations serrées (diaclasses fermées, plus dense et plus fin, moins visible) diagonales gauches et droites par rapport à l'axe du pli, dû à la compression.
- la carte géologique du Caire et des environs indique l'orientation NE-SW du plissement tectonique et des failles de bordure du plateau de Gizeh, il en résulte que les pyramides de Gizeh sont donc disposées et orientées en fonction de la géologie et de la fracturation naturelle des roches :
  - a) elles seront alignées sur le sommet du pli, parallèlement à l'axe, là où les strates sont quasi horizontales et donc plus aisées à exploiter
  - b) elles seront orientées N-S et E-W en fonction de la fracturation - la plus fine - des diaclasses métriques diagonales par rapport à l'axe du pli.

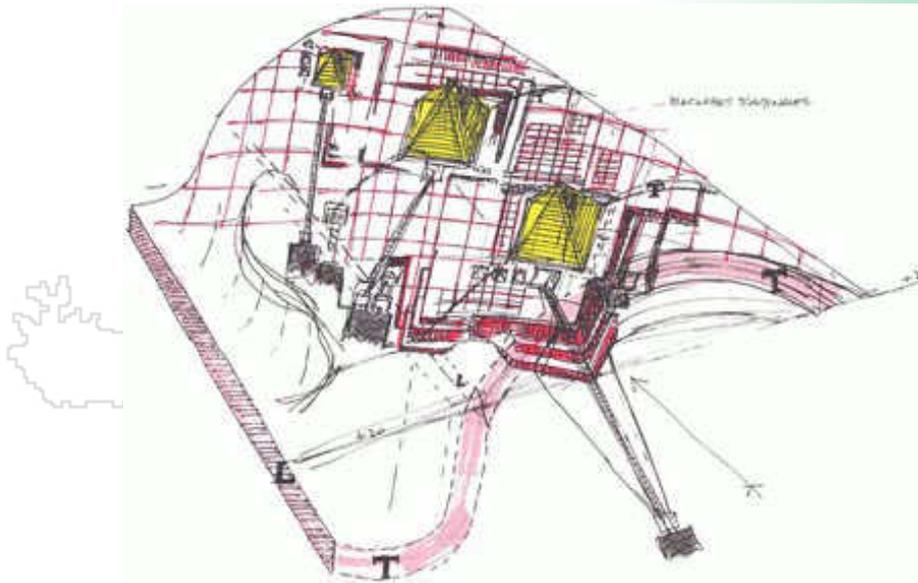


Figure 17 : schéma du double système de fracturation naturelle des roches du plateau de Gizeh

Aujourd'hui comme hier, nul ne saurait faire fi de l'orientation, de la géométrie et de la fréquence de ce système de fracturation, sous peine de ne tirer de la carrière que des blocs écornés, difformes ou fissurés, difficiles sinon impossibles à mettre en oeuvre.

- le mode d'extraction des blocs, en carrière horizontale à ciel ouvert, se fera au fur et à mesure des besoins, au plus près et au plus pratique. Les strates sont alors découpées par un quadrillage de tranchées (de largeur d'homme et orienté selon la fracturation diagonale la plus fine) qui déterminent des massifs à décoller par soulèvement : le "démisage". Les encoches nécessaires au soulèvement des massifs sont encore visibles sur le sol de carrière autour des pyramides, sur les strates restées en place et sous certains des blocs mis en oeuvre.
- Ce massif extrait devra être refendu (dans la géométrie de la fracturation) pour être transporté et mis en oeuvre, les blocs étant pour ainsi dire "pré-découpés" en carrière, ils ne nécessiteront, a priori, que peu de travail de taille.



Figure 18 : photo aérienne du "temenos" de Khéops, montrant la fracturation primaire transversale (perpendiculaire à l'axe du pli) et l'exploitation de carrière des blocs de pierre selon la fracturation secondaire (diagonale par rapport à l'axe du pli)

La forme rhomboïdale de la pyramide de Dashour-Sud n'est pas due à un allégement pour éviter qu'elle ne s'enfonce dans le plateau. Elle se construit selon le même système "d'accroissement pyramidal" qui permet de générer cette forme (aussi). Le défoncé

observable alentour <sup>21</sup> ne serait-il pas en fait (hypothèse à vérifier) le reliquat de la zone d'emprunt - la carrière - des matériaux avec lesquels elle est construite ?

## CONTINUUM TECHNIQUE

En fait, l'ensemble des édifices de terre ou de pierre dès le Néolithique: cairn, tumulus, dolmen, enceinte fortifiée, ziggourat <sup>22</sup>, mastaba, pyramide à degrés et pyramide lisse, tholos, torre, tombe mycénienne, stupa, etc....édifices mettant en œuvre des quantités importantes voire énormes de matériaux, avec des moyens techniques d'extraction et de levage des plus rudimentaires, sans même d'échafaudage, participent tous de la même méthode dite "d'accrétion-exhaussement" mise en oeuvre dès le premier épierrement rural - peut-être même issue de cette nécessité de "ramasser les tas" - dû au premier groupe d'agriculteurs - éleveurs.



Figure 19 : cairn de Barnenez (génie religieux)

et aire de battage de Cipierre (génie rural)

En effet, cette méthode est au départ et par essence anthropométrique, l'épierrage d'une pâture ou d'un champs de culture produit des monceaux d'épierrements qui, pour occuper le moins de superficie possible au sol devront être sur-élevés à la main, le cailloutis étant enserré dans des parements appareillés constitués des plus belles pierres <sup>23</sup>. La hauteur d'homme est la limite anthropométrique possible, ensuite si l'on veut exhausser le tas, il faut ajouter un parement périphérique sur lequel monter, pour pouvoir continuer l'exhaussement du premier, jusqu'à hauteur d'homme et recommencer un deuxième parement sur lequel monter, et ainsi de suite. Cette méthode est appelée par nous "accrétion-exhaussement" car seule l'accrétion périphérique permet l'exhaussement du tas ; elle explicite le schéma de la construction par degrés d'A. Choisy et impose les parements concentriques et degrés ascendants de ces édifices.

Cette méthode a été appliquée aux pyramides à degrés d'Egypte <sup>24</sup>, et d'ailleurs ; le principe premier "exploiter alentour et foisonner au centre" ainsi que le second "accréter pour exhausser" semblent bien, à charge de vérification, avoir valeur universelle.

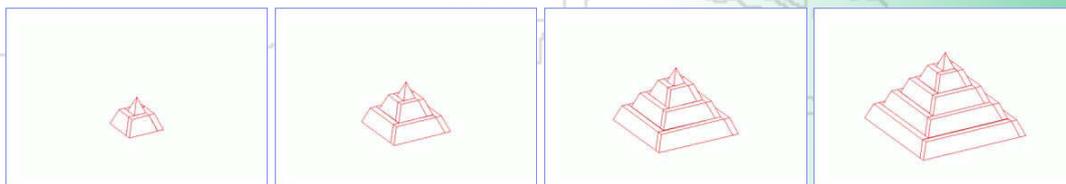


Figure 20 : schéma "d'accrétion-exhaussement" d'une pyramide à degrés quelconque (type Saqqarah)

Une simulation informatique de cette méthode a été faite qui s'applique à toutes les pyramides à degrés et permet de conjecturer quelles qu'elles soient, grandes ou petites, temple solaire ou pyramide, elles représentent des stades plus ou moins avancés d'un même projet. A l'inverse,

la pyramides de Houni-Snefru à Meidoum et celle de Sekhemkhet dite "inachevée", ne sont autres que deux stades plus ou moins avancés de leur destruction.(schéma).

Et jusqu'au mode de penser, conception et représentation du monde, cosmogonique, théogonique et anthropogonique, tout comme la notation numérique de l'arithmétique naissante d'après G. Ifrah <sup>25</sup>, participent du même concept générique d'accroissement par couches successives emboîtées les unes sur les autres, mis en oeuvre dans la construction des pyramides, au point qu'il est quasi évident qu'il s'agit là de la seule et unique façon de penser, de concevoir et de représenter.

On est même en droit de proposer, étant donné la conjonction des réalisations, que la construction ait pu participer sinon générer la structuration de l'écriture et de l'arithmétique.

## CONCLUSION.....

Ce travail de recherche scientifique, technique et opératoire - en partant du détail de l'outillage et de la manœuvre, se développe au travers d'un modèle interactif et prédictif pour proposer un système constructif référentiel de mise en oeuvre qui génère le concept en même temps que la forme.

Issu du domaine primordial de l'Art de bâtir voire du Vernaculaire, et de ce fait, il constitue un apport objectif à l'égyptologie et à l'archéologie, capable d'entendre et d'intégrer une connaissance à la fois théorique, pratique et ouvrière.

Ce travail s'impose à l'ensemble des théories énoncées jusqu'alors, il offre une nouvelle appréhension-compréhension des différents systèmes constructifs des pyramides dans leur évolution, il ouvre sur l'observance d'un "Continuum Technique" de l'Art de Bâtir et côtoie l'Universel.

Il corrobore et explicite complètement les écrits d'Hérodote, le débat sur le mode de construction des pyramides s'en trouve ainsi relancé, enrichi et objectivé au travers d'une vision généraliste et synthétique des connaissances relevant des Sciences de la Terre, du Génie des Ouvrages, de l'Art de bâtir et des Savoirs-faire des Métiers.



Figure 21 : la pyramide de Khéops photographiée de nuit (par J. Kérisel) permet d'apercevoir l'épaisseur (ombre sur l'arête) de l'enveloppe\*

**Edgar Morin**, « introduction à la pensée complexe » ESF Éditeur, 1990, (p. 31) :

**« L'intelligibilité du système doit être trouvée, non seulement dans le système lui-même mais aussi dans sa relation avec l'environnement et que cette relation n'est pas qu'une simple dépendance, mais elle est constitutive du système. »**

\* \* \*

## Notes.....

1 - Architecte de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (1971 - Prix SVIA) - Doctorant (1999 - 2002) en Génie Civil, Hydrosystèmes et Géotechnique au Laboratoire Environnement Géotechnique et Ouvrages (LAEGO) - Ecole des Mines de Nancy - Institut Polytechnique de Lorraine. Auteur de « système constructif des pyramides » (1997), ISBN n°2-88382-065-1.

<sup>2</sup> - They are dated from the 4th dynasty, under the Ancient Empire. The three great ones are located on the plateau of Giza, near Cairo, the greatest and the most famous "marvel of the world" being Pharaoh Cheops' one (147 metres height).

<sup>3</sup> - Herodotus, Greek historian (5th century BC) - "the Inquiry"- Book II - articles 125 and 126, Gallimard Editions (1964).

4 - Elles sont datées de la IV<sup>ème</sup> dynastie sous l'Ancien Empire. Les trois grandes se situent sur le plateau de Gizeh, proche du Caire, la plus grande et la plus célèbre "merveille du monde" étant celle du pharaon Khéops (haut. 147m).

5 - Hérodote, historien grec (V<sup>ème</sup> siècle av. JC) - "l'Enquête" - livre II - art 125 et 126. Editions Gallimard (1964).

<sup>6</sup> Les théories "machinistes" : chèvre de M. Strub-Roessler, élévateur de L. Croon ou l'ascenseur oscillant de G. Legrain.

<sup>7</sup> Les théories "rampistes" : rampe frontale de J. Ph. Lauer, rampe hélicoïdale de G. Goyon et/ou M. Lehner, rampe latérale de R. Stadelmann, ou engagée de D. Arnold, égyptologues contemporains éminents.

8 - Diodore de Sicile, historien grec (1<sup>er</sup> siècle av. JC) - "Naissance des Dieux et des Hommes" - livre I - art LXIII - Editions les belles lettres - Collection La roue à livres 1991 - Traduction de M. Casevitz - p 77 et 78.

9 - Les théories "mixtes" : représentée par J. Kérisel et J.P. Adam.

10 - Contexte technologique défini par les réalisations précédentes et contemporaines telle que la barque de Khéops.

11 - Bien évidemment, modélisation n'est pas construction et virtualité n'est pas réalité, cependant la modélisation permet la conceptualisation et la compréhension. Cette approche, issue de la Tradition, est utilisée par les Compagnons de Devoir, elle est fondamentale en stéréotomie qui permet d'appréhender le volume.

12 - Ces blocs servent de tampon pour l'obstruction du couloir ascendant. Ils ont été découvert par la sape d' Al Mamoun en 827. De tout évidence, ils étaient en nombre supérieur et ont eu une première fonction : celle de contre-poids et furent manœuvrés de nombreuses fois dans la Grande Galerie, expliquant ainsi la raison d'être de cette crémaillère.

13 - Ces monolithes sont considérés à tort comme des arcs de décharge, seul le dispositif supérieur en chevron remplit ce rôle

14 - De plus cette disposition des monolithes de rehausse (en granit imposé par sa meilleure résistance à la flexion), loin d'être une erreur, est plus légère - les pleins additionnés aux vides - qu'un massif en calcaire.

15 - La pente de la pyramide est donnée par le rapport hauteur/demi-base qui est égal à 1,25 (et non pas 1,2727 racine du nombre d'or comme certains le prétendent).

<sup>16</sup> Auguste Choisy(1841-1909), fils d'architecte, polytechnicien français, ingénieur de l'Ecole des Ponts et Chaussées, publie "l'Art de bâtir chez les Egyptiens" (1904)-Edouard Rouveyre, Editeur : "les pyramides sont exécutées par application successive de tranches de maçonnerie aux flancs d'un pyramidion central"(p 99). Il est le premier à schématiser, de façon intuitive, la construction par degrés et la structure en pelures d'oignon, sans toute fois les démontrer

17 - "bomides": petit autel, socle, piédestal, plate-forme élevée, table, entablement,

18 - "crossai": corbeau, encorbellement, créneau formant escalier,

19 - Reliquats de carrières qu'il est impossible de nier et qu'il est nécessaire d'intégrer dans tout schéma explicatif.

20 - Sci. Géol. Bull.- Recherches sur la fracturation naturelle des roches 1969-1972. -"Méthode d'étude de la fracturation naturelle des roches associée à divers modèles structuraux" par Michel Ruhland. Equipe de Recherche associée au CNRS " Géologie structurale et analyse tectonique". Institut de Géologie de l'Université Louis Pasteur. Strasbourg. Contrairement à ce que l'on peut lire ou entendre, de la part de certains égyptologues de renom, les trois grandes pyramides ne seraient pas implantées à l'image de la Constellation du Chien, de même que leur orientation n'est pas dictée par le lever héliaque de Sirius. L'axe du pli, indiqué par la présence

des grandes failles, est NE-SO, il en résulte que les diaclases diagonales et donc les pyramides seront orientées NS et/ou EO.

21 - Voir la photographie aérienne réalisée par Marilyn Bridges et publiée dans son ouvrage -L'Egypte vue du ciel - p 40.(1996)-Editions du Seuil.

22 - Il n'est certes pas très surprenant de constater que le terme ziggourat " siqquratu " a comme racine " s.q.r " qui signifie " être haut " ou peut-être même " s'exhausser " et que c'est la même racine chamito-sémitique que " Saqqarah " puisqu'il s'agit de la même forme, pourrait-on en déduire qu'il s'agit aussi de la même méthode de construction? Il faudra néanmoins le vérifier.

23 - L' archéologie des édifices préhistoriques "Des DOLMENS pour les MORTS" - Roger Joussaume 1985 Editions Hachette. Tous les dolmens dans le monde semblent avoir utilisé ce procédé, la plupart du temps sur plan circulaire plus ou moins maîtrisé, mais le dolmen de la Joselière à Pornic (Loire Atlantique) offre la particularité d'être sur plan carré et de comporter deux, peut-être trois parées, au point qu' il préfigure de loin les futures pyramides à degrés.

24 - Pyramide à degrés de Djoser à Saqqara est la plus célèbre, elle aurait été construite par l'architecte Imhotep. J.Ph. Lauer a travaillé près de 70 ans sur ce site sans toutefois nous en donner une explication constructive valable. Elle devait, à notre avis, comporter 7 degrés. C'est à l'analyse de cette pyramide à degrés que Richard Lepsius définira "l'accrétion", nous proposerons "accrétion-exhaussement", dans la mesure où l'accrétion n'est motivée que par la volonté d'exhausser l'édifice. Cependant la corrélation suggérée par R.Lepsius, entre la longueur du règne du Pharaon et le volume de sa pyramide garde toute sa valeur, néanmoins il n'est pas interdit de penser que plusieurs rois ont pu participer au même ouvrage. Ce qui expliciterait bien des questions posées par la pyramide de Meidum.

25 - Georges Ifrah - "Histoire universelle des Chiffres" - (1981-1994) Editions Robert Laffont.(p.394). De la même façon l'arithmétique additionnelle que Pythagore apprendra des Egyptiens, et que le monde grec dédaignera ensuite, pour être reprises par les Modernes, qui en déduisent les bases des Théories Mathématiques contemporaines, n'est que jeu d'additions, de séries et de suites, emboîtées.