



Les grandes pyramides

La construction serait-elle mère des mathématiques et l'Égypte leur berceau ?

S. ALIF

Depuis l'aube de l'humanité, si les contenants-emballages mesurent les contenus et deviennent unités de poids, ce sont le geste et l'outil de l'*homo faber*, la construction vernaculaire et l'architecture sans architecte, la machine et l'engin du «génie», et enfin l'architecture, qui fourniront des valeurs fondamentalement anthropométriques, par définition ou plutôt par essence, puisque l'homme, de ses doigts, ses mains, ses pieds, ses bras, ses jambes, sa stature, etc., est celui qui fabrique, qui fait, qui réalise et qui utilise, qui construit et occupe. C'est la pratique opératoire qui dicte sa loi : l'homme est la raison de la mesure.

Pierre Crozat

Architecte et docteur-ingénieur

De toute évidence, au sortir du Néolithique, les mesures des premières civilisations, civilisations de l'Indus, de Mésopotamie et d'Égypte ancienne, et celles des Antiquités grecque et romaine, sont de même origine et suivent le même processus de structuration et d'unification, fonction de fait politique ; les mesures de longueur sont bien anthropométriques.

Dès le pré-dynastique, et a fortiori, à l'Ancien Empire, les mesures de longueur sont, doigt, palme, empan, coudée, pied, pas, brasses, verge, etc. ; leurs combinaisons sont simples, basées sur l'addition, le doublement et le dédoublement, et le multiple ordinal (multiplication par la base). Quant à la géométrie, à l'Ancien Empire –époque de la construction des pyramides–, elle gît encore dans la construction, la manœuvre du levier, de la première «machine» décrite par Hérodote, dans l'érection d'un pilier monolithique (les piliers du temple du Sphinx, par exemple). Car relever une colonne monolithe –et bien avant déjà, un menhir–, équivaut à décrire un arc de cercle en géométrie, relevé inverse du rabattement ; ce qui fut réalisé, quelque 4000 ans avant l'invention de la géométrie grecque.

Ce n'est qu'au Nouvel Empire que se développera, grâce aux besoins de tarification d'impôt sur les champs de culture, le régime du cadastre. En effet, c'est en Égypte, du fait d'un revenu essentiellement agricole, d'une surface arable foncièrement horizontale et de l'effacement des limites parcellaires par la crue annuelle, que seront inventés le cadastre et ses agents : ceux qu'Hérodote nomme les «harpédonaptes». >>>

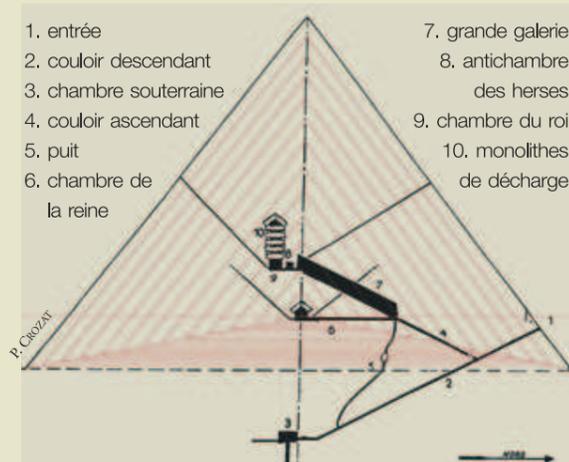
►► A l'instar d'Hérodote, et au regard de Pythagore et des nombreux «géomètres» de l'école d'Alexandrie, la question suivante est posée : la construction serait-elle mère des mathématiques et l'Égypte leur berceau ?

Les plus anciennes opérations de ce type se trouvent consignées sur une tablette chaldéenne qui permet de lire le plan coté, la superficie et la description d'une ville vers l'an 4000 avant J.-C. Cependant, nous sommes, dans ce cas précis, encore loin du calcul des surfaces triangulaires et de la triangulation. Aujourd'hui encore, la superficie d'une parcelle se calcule en projection verticale (vue d'en haut) et non en développé au sol, ceci pose toujours des problèmes dans les pays de montagne.

Dans la somme des mesures offertes par l'Égypte ancienne, nous retiendrons, pour le sujet qui nous occupe ici, la fameuse coudée royale en regard de la coudée ordinaire ou commune. Si la coudée ordinaire de 0,44 m est sans doute tardive, puisque commune à tous les nomes du pays, la coudée royale, si tant est qu'elle ait existé, était alors, par définition, propre à chacun des pharaons, bâtisseur de «sa» propre pyramide – elle varierait en effet entre 0,525 et 0,523 m (0,5180 m selon S. Couchoud). On connaîtra, de la même façon, en France, le «pied du roi» et même le «pied de Charlemagne».

Au Vietnam, aujourd'hui encore, on construit des maisons d'habitation à partir de la «coudée» du propriétaire bâtisseur, ce qui fait qu'un grand «occidental» a parfois un peu de difficulté à y entrer.

La Grande pyramide de Kheops, la plus grande et la plus «mystérieuse» de par ses dispositifs intérieurs (couloirs, chambres et grande galerie), aura été mesurée par de nombreux visiteurs, de tout temps, et particulièrement par trois équipes de savants – Le Père et Coutelle; Jomard et Cécile; Grobert – de l'expédition de Bonaparte (1798-1801). Un tableau comparatif de ses mesures est édifiant : aucun ne donne les mêmes résultats, n'ayant pas mesuré les mêmes faces ou arêtes, et le cumul ne donne jamais le même total, au point qu'il est difficile d'en connaître la véritable hauteur. Parmi les mesures de longueur égyptiennes, les égyptologues-pyramidologues, à la suite de E. F. Jomard qui pensait que les grandes pyramides avaient été construites pour receler les connaissances et les sciences de l'époque, se serviront de la fameuse coudée royale. Pour la grande pyramide de Kheops, «sa»



Coupe de la pyramide de Kheops montrant ses dispositifs intérieurs.

coudée royale (entre 0,5238 et 0,525 m), aura surtout le mérite, à notre avis, de fournir des nombres entiers aux dimensions principales (en fait approximatifs puisque les quatre faces de la pyramide n'ont pas la même longueur exacte), soit 440 coudées royales de côté (231 m) pour 280 de hauteur (147 m). Il n'est pas certain d'ailleurs – il faudrait le vérifier en dessinant le profil – que ces chiffres soient véridiques. Cependant ceci permet à certains d'entre-eux d'en tirer la conclusion – là encore approximative – que l'angle de la Grande pyramide, soit la tangente de l'angle de pente α (le rapport entre sa hauteur et sa demi-base) serait tel que $\text{tg } \alpha = 14 / 11$, rapport fameux qui avoisine la racine carrée de ϕ , le non-moins fameux nombre d'or.

On l'aura bien compris, à force d'approximations successives, c'est le pyramidologue qui devient fameux ! Mais il y a bien pis ! En effet, à la suite de la théorie biblique de J. Taylor, le professeur Piazza Smith, astronome royal d'Écosse, publiera en 1864 *Our Inheritance in the Great Pyramid* et, en 1865, après s'être rendu sur place *Life and Work at the Great Pyramid*. Dans sa «théorie», l'auteur prétend que les architectes de la Grande pyramide auraient employé une unité de mesure spéciale : le «pouce pyramidal» ; et «tous les calculs de l'ingénieur astronome reposent, en effet, sur ce pouce pyramidal qui aurait été égal à la 25^e partie de la coudée sacrée équivalant elle-même à 25,025 pouce anglais (= 0,6356 m) ; d'où un pouce pyramidal = 1,001 pouce anglais. Or, ce pouce pyramidal et cette coudée sacrée sont de pures inventions sentimentales de Piazza Smith, qui ne pouvait concevoir pour l'exécution d'un monument tel que la Grande pyramide l'utilisation de la simple coudée royale égyptienne de 0,5235 à 0,524 m, cependant employée dans tous les monuments d'Égypte dès les pre-

La septième merveille du monde antique doit être pensée comme un «tas» monumental

mières dynasties, et qu'il qualifie d'«unité idolâtre et profane, inventée par Caïn», d'après le commentaire du fameux égyptologue J.-Ph. Lauer.

On peut ainsi constater qu'en matière de mesure, de calcul et d'unités «royale» ou «sacrée», il existe de nombreuses chapelles chez les pyramidologues !

L'énigme du mode de construction des pyramides persistera tant que les pyramidologues observateurs et géomètres seront hypnotisés par le sacré, les dimensions et la géométrie de ces ouvrages. Seul leur appréhension-compréhension en termes de «génie civil» – non en termes «d'architecture» – reliant ainsi ces ouvrages, à l'intérieur d'un «continuum technique», à l'ensemble des ouvrages tumulaires, permet de rendre compte de leur procédé constructif. En effet, la Grande pyramide, septième merveille du monde antique, doit être pensée comme un «tas», monumental certes, et ô combien prestigieux, mais comme une masse, en termes de génie ou ingénierie, de logistique et méthode et non pas en termes de forme architecturale. Les différentes formes de ces ouvrages tumulaires qui jalonnent l'histoire de l'Ancien Empire (pour ne parler que de celles-là : mastabas, pyramides à degrés, pyramides

lisses, pyramides à textes) doivent être comprises dans une évolution technique, procédant certes d'un même mode générique, basée sur l'évolution des outils et moyens de levage, évolution technique qui induira l'évolution formelle... Et non-pas l'inverse !

En fait – est-il nécessaire de le rappeler ? –, l'ensemble des édifices de terre ou de pierre dès le Néolithique (cairn, tumulus, dolmen, enceinte fortifiée, torre, tombe mycénienne, ziggourat, pyramide à degrés et lisse, stupa, etc.), mettant en œuvre des quantités 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 «d'accrétion-exhaussement» appliquée dès le premier épierrement dû au premier groupe d'agriculteurs-éleveurs.

Car, enfin, la gravité, la statique, la résistance des matériaux et le travail de l'homme sont identiques, que le génie de l'ouvrage soit civil, militaire, rural ou sacré ; et les méthodes constructives, de même. Quant au mode «générique», c'est-à-dire le cœur de la méthode, il est à observer dans les ouvrages tumulaires préhistoriques et historiques : tumulus, cairn ou dolmen, etc. Issu du ►►



► vernaculaire, il est à redécouvrir dans les ouvrages mineurs ruraux, du néolithique à nos jours, tels que les épierrements.

Comment, en effet, faire un tas de pierre, *murger* ou «épierrement» rural, hier comme aujourd'hui, quand on n'a que ses mains, ses bras, son corps ? Ce mur, ce tas, ne dépasseront pas la hauteur de l'homme ; nos campagnes, les pâtures, les champs et surtout les vignes nous les font connaître : murs de pierres sèches, cabanes de bergers, épierrement de vignes.

Et quand cet épierrement tiendra trop de place au sol, diminuant d'autant la surface exploitable plutôt que de l'élargir, «accrétion» simple, on va l'élever en faisant un nouveau tas (en empruntant) sur le sommet du premier ; ainsi se développe la méthode constructive par degrés dite «d'accrétion-exhaussement».

En fait, les pyramides d'Égypte, comme tout ouvrage tumulaire, sont construites de matériaux empruntés alentour. L'analyse des caractéristiques géologiques des sites d'implantation permet d'ordonner et d'explicitier l'évolution des procédés de leur construction qui participent d'un «continuum technique» de l'art de bâtir. La Grande pyramide de Kheops se trouve être la plus révélatrice du «système constructif des pyramides» et la grande galerie doit être considérée comme un

«extraordinaire ascenseur oblique». Les observations archéologiques in situ constituent alors autant de preuves de l'utilisation du procédé

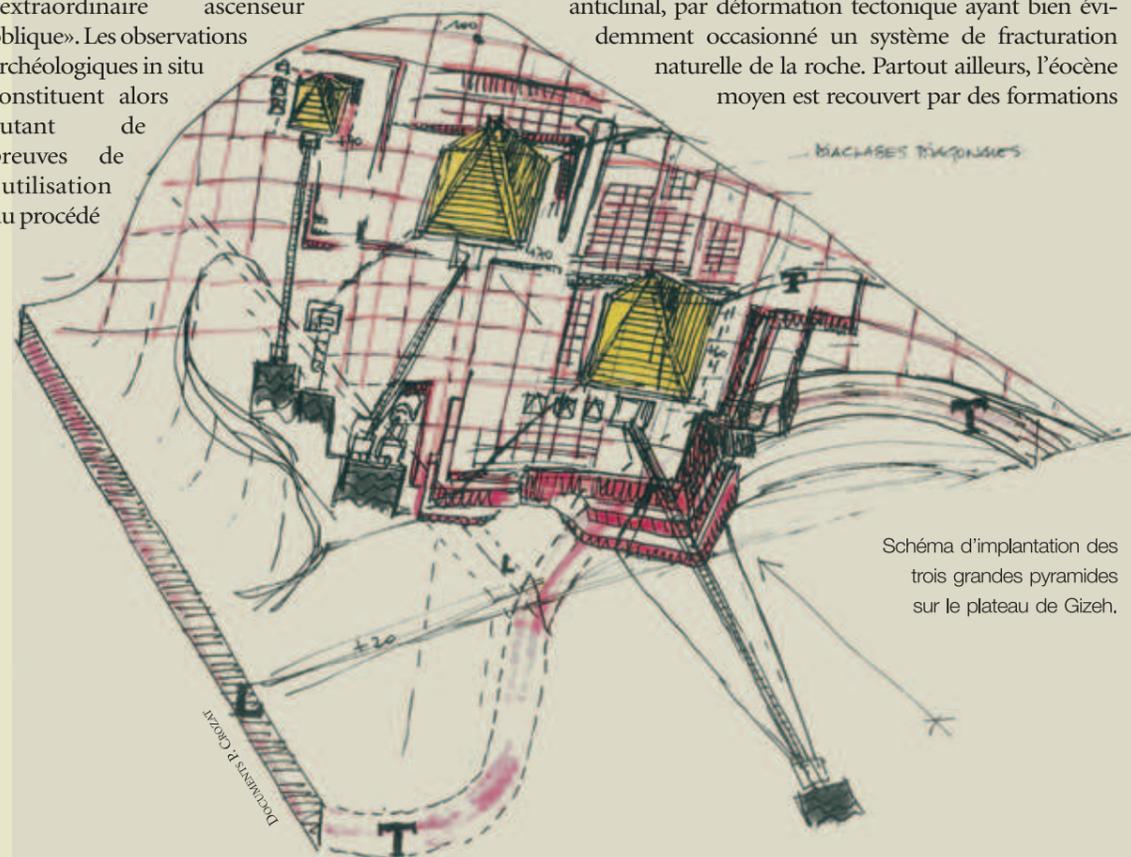
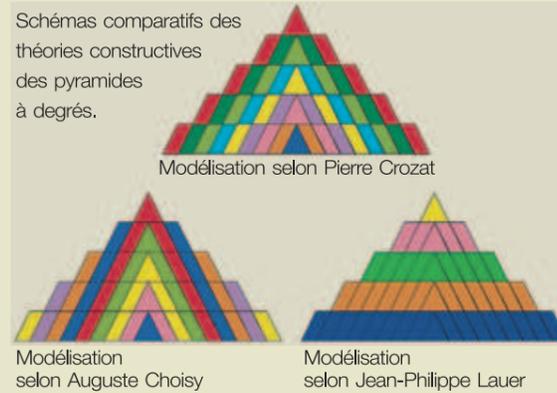


Schéma d'implantation des trois grandes pyramides sur le plateau de Gizeh.



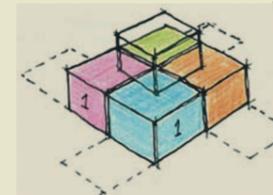
«d'accroissement pyramidal», procédé qui corrobore, en tous points, les écrits d'Hérodote demeurés hermétiques jusqu'alors.

Les blocs calcaires constituant le massif de gros œuvre, contrairement à ce que prétendent les «théories rampistes ou mixtes» à l'instar de Diodore de Sicile, seront empruntés au plateau de Gizeh, alentour et au plus près, par exploitation directe des strates sub-horizontales du plateau, à cet endroit, d'où la variation des assises. Du point de vue géologique, ce plateau calcaire est d'âge éocène moyen (à Nummulites). Il constitue un léger pli anticlinal, par déformation tectonique ayant bien évidemment occasionné un système de fracturation naturelle de la roche. Partout ailleurs, l'éocène moyen est recouvert par des formations

Les pyramides d'Égypte sont construites de matériaux empruntés alentour

postérieures, sauf sur le plateau de Gizeh et sous la vieille ville du Caire qui participe du même plissement anticlinal ayant permis l'affleurement du fait de l'érosion. Dans toute carrière, aujourd'hui comme hier, nul ne saurait faire fi de l'orientation, de la géométrie et de la fréquence de ce système de fracturation naturelle, sous peine de ne tirer de la carrière que des blocs écornés, difformes ou fissurés, difficiles sinon impossibles à débarder et mettre en œuvre.

Les pyramides de Gizeh seront donc disposées et orientées en fonction de la géologie et de la fracturation naturelle des roches.



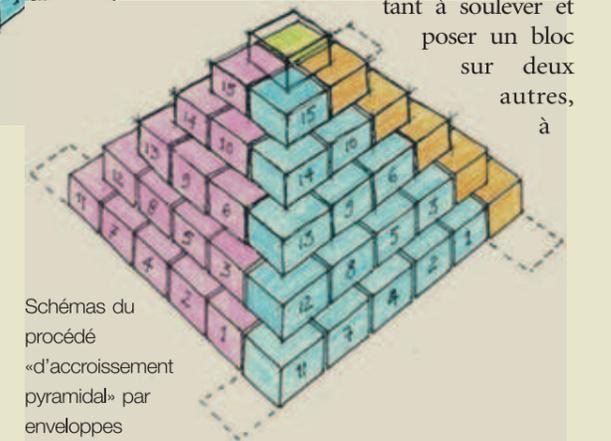
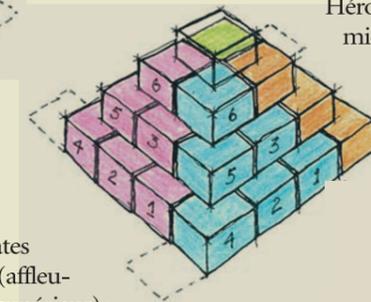
Elles seront alignées sur le sommet du pli, parallèlement à l'axe, là où les strates sont les plus horizontales (affleurement du banc lutétien supérieur) ; elles seront orientées en fonction du système de fracturation – le plus fin – des diaclases diagonales (métriques) par rapport à l'axe du pli. L'axe du pli anticlinal étant orienté N-E/S-W, les diaclases diagonales se retrouveront orientées N/S et E/W ; contrairement à ce qu'affirment certains égyptologues, l'orientation des pyramides de Gizeh n'a aucun rapport avec l'astrologie (la constellation du Chien et Sirius).

La pyramide rhomboïdale n'est en aucune manière une erreur des constructeurs qui l'auraient ainsi allégée pour éviter qu'elle ne continue à s'enfoncer dans le plateau, elle se construit selon «le procédé d'accroissement pyramidal» qui permet de générer cette forme, et le défoncé alentour n'est en fait que la zone d'emprunt – carrière – des matériaux avec lesquels elle est construite. Quant aux pyramides à degrés, elles sont construites de matériaux de petits modules «manu-portables» et selon le système constructif «d'accrétion-exhaussement». Elles sont implantées sur des sites qui fournissent ce type de pierres.

De la même façon, les grandes pyramides de Gizeh, faites de blocs cyclopéens (de 1 m³ environ soit 2,5 tonnes),

fort justement fournis par la fracturation naturelle (réseau le plus fin) des strates du plateau sur lequel elles sont implantées et construites. Seules les pierres du revêtement (en calcaire fin de Tourah, carrières sur l'autre rive du Nil pour Kheops ou en granite pour Mykérinos et Khephren) et les 90 monolithes de granite d'Assouan (à 800 km au sud) qui forment la Chambre du Roi et les arcs de décharge (de rehausse) de la pyramide de Kheops, sont d'autres provenances ; les raisons en sont purement utilitaires du fait qu'elles doivent répondre à des fonctions ou sollicitations spécifiques.

Le système constructif «d'accroissement pyramidal» des grandes pyramides nécessitera l'invention et l'utilisation d'une «machine», comme l'indique l'historien grec Hérodote. La pyramide est construite à partir d'un pyramidion au centre de la base, bloc par bloc, face par face, par enveloppes successives superposées, emboîtées l'une l'autre à l'image de pelures d'oignons, par répétition d'un mouvement élémentaire simple consistant à soulever et poser un bloc sur deux autres, à



Schémas du procédé «d'accroissement pyramidal» par enveloppes successives «en pelure d'oignon».

l'aide d'une «machine faite de courtes pièces de bois» –dixit Hérodote– (un trépied avec un bras de levier muni d'un contrepoids) et d'autant d'ouvriers, suspendus à des cordes, en poids mort.

Le procédé «d'accroissement pyramidal» permet de réaliser au fur et à mesure de l'érection de la pyramide, l'ensemble des dispositifs intérieurs : chambres, couloirs ascendant et descendant, grande galerie et conduits de ventilation ; leurs formes et emplacements étant les corollaires du système. Les monolithes de granite de la chambre du roi seront, quant à eux, hissés par glis- ►►

La grande galerie doit être considérée comme un «extraordinaire ascenseur oblique»

►► sement, à ciel ouvert, sur tout un faisceau de plans inclinés réalisés par anticipation de la construction, suivant le procédé décrit, sur la face nord, et dont le couloir ascendant et la grande galerie en sont les témoins archéologiques.

La grande galerie, dans son profil, glissière centrale et banquettes latérales, les mortaises régulièrement disposées tout au long formant une véritable crémaillère, et les futurs blocs-tampons 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.

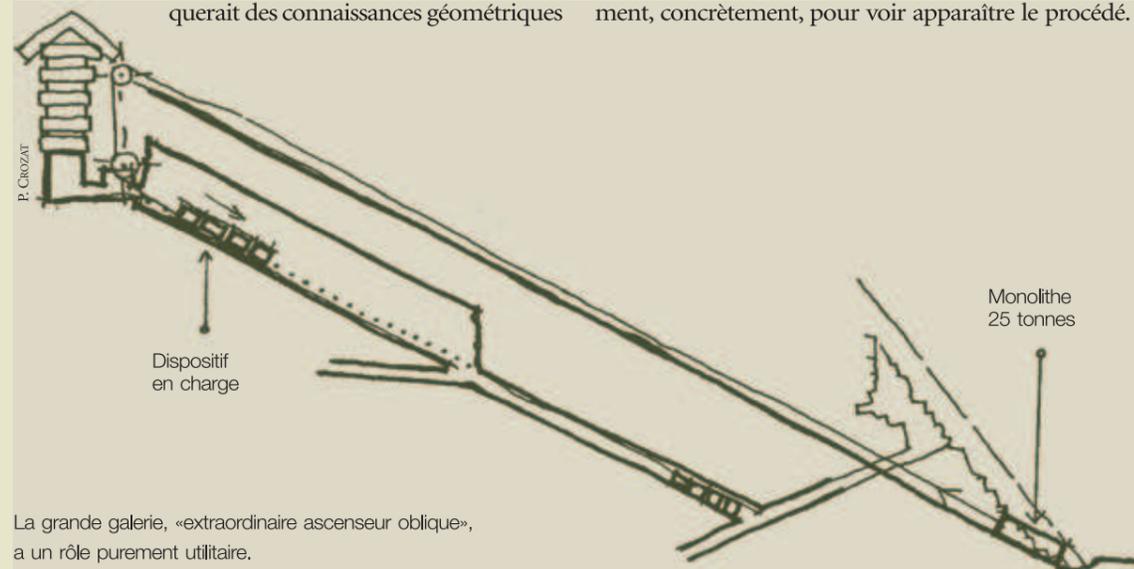
La pyramide peut être, in fine, revêtue d'une dernière enveloppe – de calcaire fin ou de granite – qui sera ravalée par abatement à l'herminette du nez des blocs d'assises, la pyramide sera dès lors «achevée, en commençant par le sommet» – dit Hérodote – puisque ce ravalement exécuté à reculons aura fait disparaître les entablements sur lesquels reposer le trépied ; il est alors impossible d'ajouter un quelconque bloc.

Le plan de la chambre du roi est un double carré de 10 x 20 coudées royales, la hauteur égale à $5\sqrt{5}$ est obtenue – sans connaître les racines carrées – en relevant (non pas géométriquement mais physiquement) la demi-diagonale du double carré du sol. Point n'est besoin de considérer la diagonale de la petite face de la chambre (qui mesure 15 coudées) ou de la tracer, ce qui impliquerait des connaissances géométriques

encore ignorées à l'époque. Il faut néanmoins savoir tracer un carré. Et, là encore, point n'est besoin de connaître le «fameux» triangle sacré égyptien (de côté 3, 4 et 5) que nous transmettra Pythagore, un cordeau suffit amplement pour le tracer.

Le pharaon Kheops était bel et bien dans son sarcophage, toujours en place dans la chambre du roi, où l'aura trouvé le calife Al Mamoun en 827. La légende rapportée par deux fois par Hérodote selon laquelle le pharaon aurait été enseveli sous sa pyramide (et non pas dans sa pyramide), «sur une île entourée d'eau», n'avait pour but que de leurrer les pillers de tombes, ce qui à l'évidence a fonctionné durant 35 siècles ! Hérodote avait néanmoins pris la précaution du «on dit». De fait, la description du mode de construction de la pyramide de Kheops par Hérodote (*L'Enquête*, livre II, articles 124 et 125), demeurée hermétique jusqu'alors, est élucidée et corroborée par ce travail de recherche scientifique. Les termes techniques grecs de «bomides» et «crossai» sont définitivement explicités, respectivement «pierre servant d'appui formant entablement» et «pierre montant l'escalier posée en encorbellement».

Ce travail «scientifique, technique et opératoire» remet en cause l'ensemble des «théories rampistes» avancées jusqu'alors. Il s'agit d'explicitier, développer, modéliser et démontrer jusqu'à la manœuvre de la «machine», la description faite par les prêtres égyptiens que nous a léguée Hérodote, voici vingt cinq siècles. Il aura suffi de «modéliser», de faire le geste «opératoire», physiquement, concrètement, pour voir apparaître le procédé.



La grande galerie, «extraordinaire ascenseur oblique», a un rôle purement utilitaire.



S. ALIF

La forme-même – qu'elle soit à degrés, lisses ou à texte –, la taille et l'angle des pyramides, ne sont que résultantes du «système constructif des pyramides» qui les a générées. Système qui évoluera techniquement dans le temps en fonction de l'évolution des moyens de levage à disposition. Les sites d'implantation seront alors choisis en fonction de la présence des matériaux disponibles et de l'outillage de l'époque. Pour ce qui est de la Grande pyramide, il faudra attendre l'invention et la maîtrise de manœuvre de la «machine» décrite par Hérodote – capable d'élever un bloc de 2,5 tonnes sur deux autres – pour que le site de Gizeh soit utilisable. Et sa pente a davantage à voir avec le module moyen ou «bloc unitaire» du réseau de fracturation naturelle des roches, que du dessin d'une forme «géométrique», encore moins d'une volonté «esthétique» délibérée du maître d'œuvre. Quant à la taille, le mode générique par enveloppes successives, à partir d'un pyramidion au centre de la base, ne contient pas de limite en soi ; la construction de la pyramide sera arrêtée suivant la décision du maître de l'ouvrage. En l'occurrence, pour Kheops, il aura néanmoins fallu attendre que la «rampe» construite par anticipation (ayant permis la mise en place des monolithes de la chambre du roi), sur la face nord, soit complètement incluse et disparaisse ainsi dans le volume pyramidal. Il restera à poser la dernière couche-enveloppe de calcaire fin de Tourah et à procéder au ravalement «en commençant par le sommet», dit Hérodote.

En termes de pyramide, comme pour tout ouvrage tumulaire et tous ouvrages dus au travail de main d'homme, il n'est d'aucun secours d'invoquer les extraterrestres, les dieux, le ciel et les étoiles – Alpha du Dragon –, ou les «mystères». La solution de l'énigme réside dans la matière, dans la pierre, la géologie, la frac-

turation naturelle des roches, les méthodes constructives et l'intelligence du travail opératoire des hommes. Pensée ouvrière concrète et pratique, manœuvrière et cumulative, additionnelle et récurrente, qui fait, fabrique, génère le tas pyramidal, dès le début de la construction.

La Grande pyramide n'est plus du domaine de «l'artisanat», ni même l'objet d'une «forme architecturale» dessinée mais, avec ses 2 600 000 blocs extraits, transportés, taillés, et mis en œuvre, sur un chantier de 100 000 ouvriers pendant vingt ans (toujours d'après Hérodote), elle relève d'une vision cumulative tumulaire, d'un travail répétitif (taylorisme ou stakhanovisme de l'époque) et d'une organisation de la production de type «proto-industrielle».

L'erreur, depuis les origines de la géométrie, est bien d'avoir observé la pyramide de l'extérieur, en géomètre, vision descriptive et spéculative, jeu de points, de lignes et de plans, jeu abstrait et vide de «savoir-faire». Depuis lors, la connaissance, savoir issu du savoir-faire, «esclavagisée» par la culture grecque dominante, s'est rétractée dans l'ombre et enfouie dans la masse de la matière, recouverte ensuite des différentes interprétations spéculatives des divers types d'observateurs : biblique, théosophique ou ésotérique, historique, symbolique, artistique, esthétique, mathématique, astronomique, littéraire...

Il aura fallu réussir à enlever toutes ces interprétations et jusqu'à la «géométrie» grecque, plus théorique qu'expérimentale – exercice abstrait et spéculatif «hors la loi de la métrologie», source de démesure et de déraison –, pour retrouver le chemin de la pratique, de la compréhension technique des deux termes «crossai» et «bomides», de la modélisation expérimentale et de l'évolution de l'outil, de la méthode (et de la machine) génératrice des «formes», comprise dans le «continuum technique» de l'art de bâtir.

Selon cette méthode «cumulative», que ce soit «l'accrétion-exhaussement» des pyramides à degrés ou «l'accroissement pyramidal» des grandes pyramides, la taille de l'édifice qui s'accroît sur lui-même (homothétiquement bien avant Thalès) comme une fourmière ou un château de sable, aura ses dimensions finales quand il sera décidé d'arrêter le chantier.

Et, concernant les grandes pyramides, ce n'est pas le «choix» d'une pente qui détermine la «forme» mais la technique «d'empilage» de mise en œuvre par la «machine» (l'algorithme du modèle qui ne fait que de la pyramide) et le rapport entre hauteur moyenne des assises et profondeur moyenne des «entablements (bomides) / encorbellements (crossai)». La «forme» n'en est que la résultante.

Si la pyramide y perd un peu de son mystère, elle y gagne amplement en génie. ■