

Le génie des pyramides

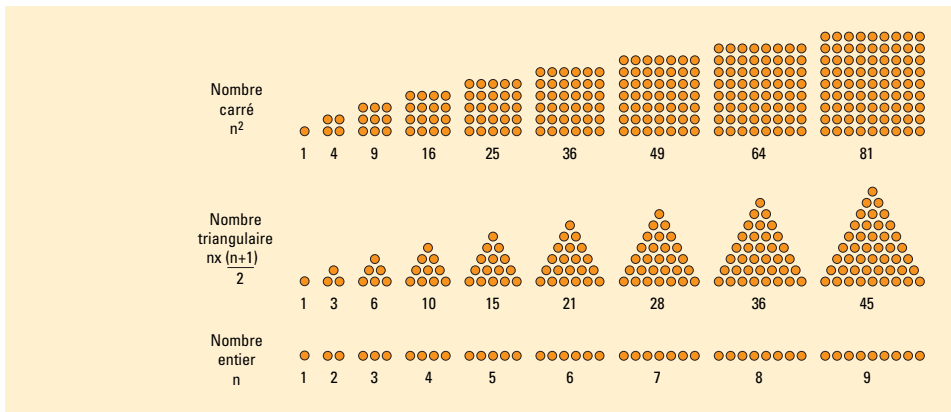
PIERRE CROZAT
Architecte-urbaniste

« Si j'avais à construire une pyramide... comment ferais-je ? ». Telle est la question que s'est posée Pierre Crozat, professionnel de la construction. Interpellé par trois traductions différentes d'un même passage du texte d'Hérodote, il suit son intuition qui le mène à la conclusion suivante : les pyramides sont construites selon un procédé d'accroissement pyramidal. Partant d'une petite pyramide au centre, ce procédé permet de la faire croître par enveloppes successives.

La fascination de l'Égypte ancienne

L'Égypte ancienne fascine le monde moderne par sa culture ancestrale, son écriture hiéroglyphique oubliée (déchiffrée par Champollion), l'ampleur de ses monuments, la beauté de ses productions artistiques et la mystique du culte des morts. Mais les pyramides sont, sans aucun doute, ce qui intrigue le plus, tant par leurs masses qui perdurent, leurs formes géométriques parfaites que par l'énigme de leur construction.

Il apparaît en effet que, malgré les moyens de levage modernes, nous serions incapables aujourd'hui de construire la pyramide de Chéops : 147 mètres de hauteur, 5 000 mètres carrés de surface à sa base, 2 600 000 mètres cubes de pierre en volume. De l'Antiquité à nos jours, l'Homme s'est interrogé sur le rôle des pyramides, leur signification, le statut social de la main-d'œuvre (ouvriers ou esclaves), les techniques de construction, l'organisation et la durée du chantier, le génie des bâtisseurs de l'Ancien Empire.



Des traductions révélatrices

Dans le foisonnement des diverses théories accumulées depuis l'Antiquité (se reporter à l'encadré *Théories diverses*), il est bien difficile pour un nouvel entrant d'être pris au sérieux. Fallait-il être naïf et/ou opiniâtre pour oser embrasser ce sujet dans un tel contexte ! Intrigué depuis longtemps par cette « énigme » qui touche à ma profession, loin d'être satisfait par les théories « interprétatives, proposées par l'égyptologie, j'ai décidé d'essayer enfin d'y voir clair. Après avoir mis un peu d'ordre dans tout ce foisonnement de théories, j'ai été amené à analyser la partie du texte d'Hérodote vers laquelle me poussait mon intuition :

« Voici comment on construit cette pyramide, par un système de gradins successifs que l'on appelle tantôt *krossai*, *corbeaux*, tantôt *bomides*, *plates-formes* ».

Le hasard fit que trois traductions différentes de ce passage « crucial » m'aient été fournies en même temps. Je m'aperçus ainsi que les trois traductions tournaient autour d'une même notion « constructive » qui implique l'utilisation différente, successive ou en alternance des deux termes techniques : *bômides* (plate-forme) et *crossas* (corbeau). Dans une des traductions on lit : « que l'on appelle ou *bômides* ou *krossai* » ; dans la deuxième, on lit : « que l'on appelle tantôt *bômides*, tantôt *krossai* » ; et enfin dans la troisième on lit : « que certains appellent *bômides* et d'autres *krossai* ».

FIGURE 1

Les nombres figurés.

À chaque nombre entier est associé un ensemble de petits ronds. Lorsque les nombres entiers ne résultent d'aucune opération, tous les ensembles de petits ronds associés peuvent figurer une ligne horizontale. Lorsque le nombre résulte de l'opération $n(n+1)/2$, tous les ensembles peuvent figurer un triangle : le nombre est dit triangulaire. De même, lorsque le nombre entier est le carré d'un autre, il est nommé nombre carré : tous les ensembles associés peuvent figurer un carré. Triangle et carré représentent respectivement la vue frontale et la base d'une pyramide. La succession de figures suggère un mode d'accroissement.

Ces deux termes différents (néologismes d'Hérodote) indiqueraient-ils des formes, des positions, des fonctions différentes ou, comme le suggère ce « tantôt-tantôt », une alternance d'état, d'appellation, dans l'acte même de construire ? Le dictionnaire grec-français A. Bailly précise :

- *bômides* : petit autel (diminutif de *bômos*, autel de pierre à peine équarri), par extension socle, piédestal, table, entablement (appui sur lequel poser quelque chose) : **notion d'entablement** ;

- *krossas* : corbeau (pierre qui sort du mur en porte-à-faux – en décrochement) : **notion d'encorbellement** ;

Théories diverses

Depuis l'Antiquité, différentes théories de construction s'affrontent : Hérodote, « le père de l'histoire », (450 av. J.-C.) parle de l'utilisation de machines de bois élévatrices, Diodore de Sicile (50 av. J.-C.) de levées de terre annexes, sur lesquelles glisser les blocs de pierre.

Jusqu'à présent, les « machinistes » se sont bornés à rechercher la machine de bois : levier ou chèvre (L. Croon, M. Straub-Roessler) capable d'élever un bloc de pierre de 2,5 tonnes d'une hauteur d'assise (en moyenne 0,70 mètres) sans jamais appréhender le processus de construction en lui-même, dans son ensemble. De plus, cette machine ne saurait permettre la mise en place des gros monolithes de granit de la chambre du roi. Pesant de 30 à 63 tonnes, ils sont situés de 45 à 65 mètres de hauteur dans la pyramide.

Hérodote parle de l'utilisation d'une machine de bois et rapporte, vingt siècles plus tard, les dires des prêtres égyptiens sur la construction de la grande pyramide : Voici comment fut construite cette pyramide, par le système de gradins successifs que l'on appelle tantôt « bomides » (plate-forme), tantôt « crossais » (corbeau), soit d'après le dictionnaire Bailly, « un système de

créneau formant escalier ». Jusqu'à présent cette explication est demeurée hermétique. Serait-elle affabulation de sa part, invention de la part de ses informateurs ou déformation d'une tradition orale et/ou occulte désormais incompréhensible ? De quelles connaissances techniques bénéficiait le père de l'histoire ? Aura-t-il seulement bien compris et bien traduit ce qu'on lui disait ? Beaucoup d'égyptologues mettent en doute, ce texte d'Hérodote précisément ; toujours est-il que l'égyptologie n'en a rien tiré ni retenu. En revanche, les théories « rampistes », correspondant aux levées de terre de Diodore de Sicile, semblent les plus séduisantes ; faciles à représenter et à comprendre, elles sont défendues par d'éminents égyptologues. J.-Ph. Lauer propose une rampe frontale, G. Goyon une rampe hélicoïdale et D. Arnold une rampe engagée. Accessoires à la construction, ces rampes ont un volume surpassant de 3 à 7 fois celui de la pyramide elle-même, et elles doivent être démolies en fin de chantier, ce qui nécessite beaucoup de travail. De nos jours, nombreux sont ceux qui avancent d'autres interprétations : théories mixtes ou pierre artificielle. Quant à la palme de la théorie la plus fantaisiste, elle revient à M. Minguez pour son système d'écluses !

La conjugaison des deux termes ou deux notions étant contenue dans la formule du dictionnaire Bailly : « un système de créneau formant escalier ».

Là était la raison de l'incompréhension des traducteurs, là devait se trouver le début d'une solution, d'un mode d'appréhension et de développement technique de construction que le traducteur helléniste, littéraire de formation, n'avait pu ressentir, ni appréhender, ni visualiser ni traduire, car en dehors de son domaine de compétence, de par sa formation-même. On ne saurait lui en vouloir !

Nous sommes dès lors dans le domaine de la technique, du système de construction dont

Hérodote nous explicite ensuite, en détail, le mode opératoire :

« On la construisit d'abord [dès le début] sous cette forme [de pyramide], puis on hissa les pierres suivantes (de complément) à l'aide de machines faites de courtes pièces de bois : on montait la pierre du sol jusqu'à la première plate-forme ; là, on la plaçait dans une autre machine installée sur le premier gradin, et on la tirait jusqu'au deuxième gradin, où une troisième machine la prenait. Il y avait autant de machines qu'il y avait de gradins, à moins cependant qu'il n'y en ait eu qu'une seule, facile à déplacer et qu'on transportait d'un gradin à l'autre sitôt

déchargée (ceci pour indiquer les deux procédés que rapporte la tradition).

On acheva donc d'abord le sommet de la pyramide, puis les étages au-dessous, l'un après l'autre, et l'on finit par les gradins inférieurs et la base de l'édifice. »

Le procédé « d'accroissement pyramidal »

R. Lepsius (1810-1884) observait des murs accolés en « pelure d'oignon » à partir d'un noyau central et A. Choisy dessinait le schéma des enveloppes successives des grandes pyramides. J'en suis arrivé à entrevoir et développer par modélisation le procédé que j'ai appelé « *d'accroissement pyramidal* ». Partant d'une petite pyramide au centre, il permet de la faire croître par enveloppes successives. Les nombres figurés m'ont été d'un précieux recours, car ils suggèrent un mode d'accroissement d'un « tas » à base carrée : la pyramide (fig. 1).

De cette modélisation, il ressort que tout bloc est appelé *crossas* (en encorbellement) quand il grimpe le « créneau formant escalier » ; il est en revanche appelé *bômides* (entablement) une

fois posé à sa place (assisé), servant alors d'appui pour les *crossas* suivants. Le mouvement élévatoire élémentaire, additionnel – récurrent, réalisé par la « machine » d'Hérodote est un algorithme simple : lever et poser un bloc sur deux autres (fig. 2).

La logique constructive s'impose ici. Le procédé constructif est un système simple et ingénieux et les visualisations (fig. 3) sont, à ce niveau, probantes. À ce stade de mes recherches, j'ai été invité à les poursuivre dans le cadre d'une thèse de doctorat au Laboratoire environnement, géo-mécanique et ouvrage – Laego, de l'École des mines de Nancy (ENSMN). En m'imposant une procédure de thèse dans une des grandes écoles d'ingénieurs, j'assurais la qualité d'un travail de synthèse généraliste pluridisciplinaire en même temps qu'une démarche rationnelle suivant la logistique de construction. Le jury comprenait des spécialistes de divers domaines : histoire des techniques, mégalithisme, géologie (géo-technique et géo-mécanique), ingénierie, architecture, mécanique générale, métiers de la pierre, etc.

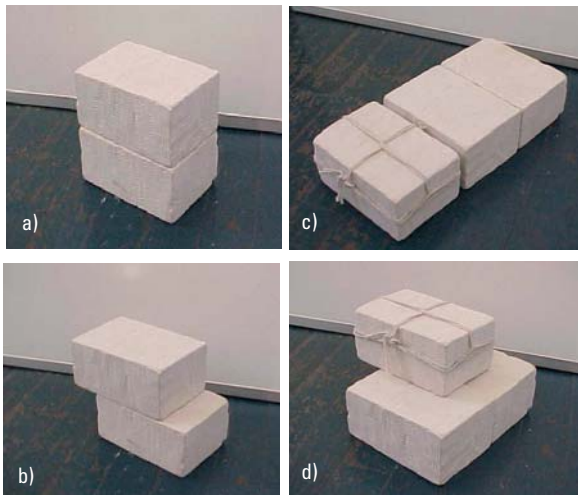


FIGURE 2

Modélisation de la « machine » d'Hérodote.

L'appellation d'un même bloc de pierre varie. Le bloc en mouvement ou en attente d'être placé est appelé « *crossas* ». Une fois placé, il s'appelle « *bômides* ».

Le terme « *crossas* » contient une notion d'encorbellement (la pierre est en porte-à-faux). Le terme « *bômide* » contient la notion d'entablement. Ainsi les deux blocs de la figure a) ne sont ni « *bômides* » ni « *crossas* ». Sur la figure b) la partie dégagée de la pierre du dessous est nommée « *bômides* », la partie de la pierre du dessus qui dépasse est appelée « *crossas* ». Le mouvement élévatoire élémentaire de la machine d'Hérodote se résume à lever et poser un bloc « *crossas* » sur deux autres « *bômides* » comme en c) et d).

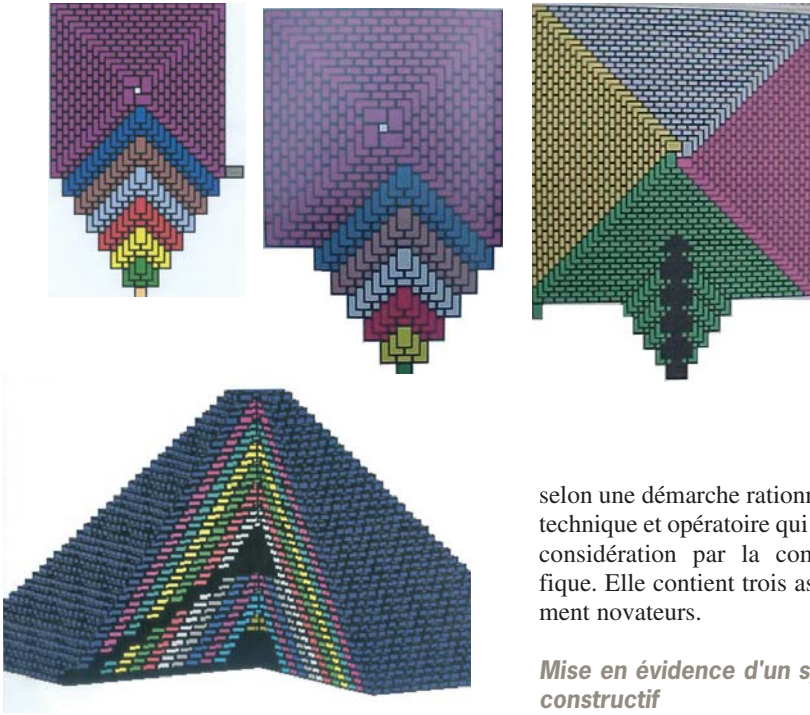


FIGURE 3
Modélisation
infographique de
« l'accroissement
pyramidal » avec
anticipation sur une
face, et des couloirs
et chambres
intérieures.
 © P. Crozat.

Principes de l'art de bâtir et aspect novateurs

Cette thèse se fonde sur trois principes universels de l'art de bâtir :

- *principe du vernaculaire* : les ouvrages d'architecture – et surtout les ouvrages tumulaires du génie civil – sont réalisés avec les matériaux disponibles sur place, seules quelques pièces spéciales proviennent d'ailleurs ;
- *principe d'évolution* : les pyramides d'Égypte se situent dans une continuité évolutive des méthodes, des savoir-faire et des outils technologiques, portée par la tradition, qu'il faut aller reconnaître ;
- *principe d'économie* : l'intelligence du travail humain est régie par la règle d'économie d'effort et de moyen, vision logique de la logistique – nécessaire et suffisante – de celui qui réalise par lui-même (et non pas celui qui observe).

Cette thèse développe une vision généraliste et pragmatique du constructeur praticien,

selon une démarche rationnelle : scientifique, technique et opératoire qui impose sa prise en considération par la communauté scientifique. Elle contient trois aspects particulièrement novateurs.

Mise en évidence d'un système constructif

La pyramide se construit par « accroissement pyramidal », bloc par bloc, face par face, par enveloppes successives en « pelures d'oignons » ; les couloirs et chambres sont induits par le système. Ce dernier permet de construire, par anticipation sur une face, à ciel ouvert, un faisceau de rampes (angle induit par l'algorithme) sur lequel seront glissés et mis en place les 52 monolithes de granite de la chambre du roi ; la grande galerie apparaît alors dans un rôle utilitaire : espace de manœuvre du contrepois d'un extraordinaire monte-charge oblique réalisé à cet usage (fig. 4).

Emprunt des matériaux aux alentours du site

D'une façon générale, pour l'ensemble des ouvrages tumulaires, les matériaux constitutifs sont empruntés aux alentours des sites d'implantation ; seuls certains éléments spéciaux : monolithes (granite d'Assouan) et le revêtement éventuel (calcaire fin blanc de Tourah) sont, par nécessité technique, d'une autre provenance.

Les blocs cyclopiens (calcaire nummuliti-

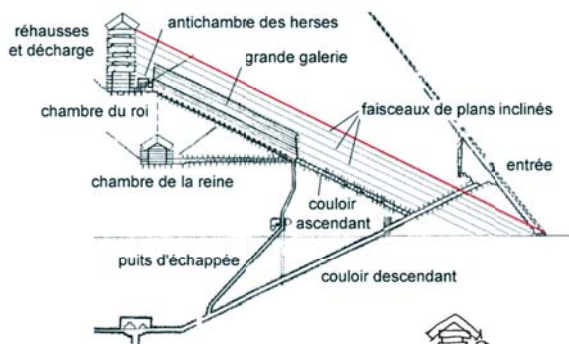
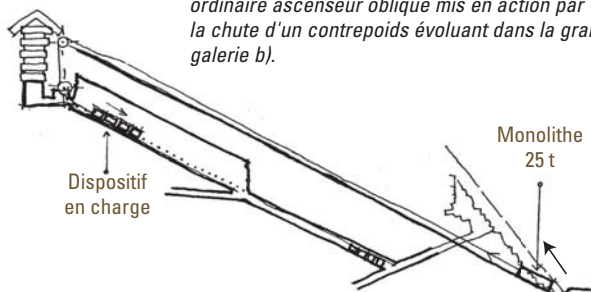


FIGURE 4

Plans inclinés et grande galerie.

Le procédé d'accroissement pyramidal permet de construire par anticipation des faisceaux de plans inclinés a) sur la face nord, servant de rampes pour le transport des monolithes. Ces derniers sont élevés à l'aide d'un extraordinaire ascenseur oblique mis en action par la chute d'un contrepoids évoluant dans la grande galerie b).



tique lutétien) empruntés aux alentours du plateau, de hauteurs variées (selon les strates), nécessitent l'utilisation d'un appareillage horizontal à décrochement; la géologie du plateau de Gizeh indique un pli anticlinal orienté NE - SO (axe en N 45°) faisant affleurer ce gisement. Selon M. Ruhland, le réseau de fracturation naturelle des diaclases diagonales, permettant l'exploitation directe des strates (blocs unitaires) en carrière horizontale, est orienté N/S et E/O. Selon cette hypothèse, les trois pyramides de Gizeh seraient alors implantées sur le sommet, parallèlement à l'axe du pli et orientées - diagonalement - sur la géométrie des carrières, suivant la fracturation la plus fine (fig. 5).

Reconnaissance d'une évolution technique

L'étude des ouvrages préhistoriques : cairns, dolmen, tumulus, oppidum, etc. nous renseigne sur l'évolution de la méthode « d'accrétion-exhaussement » qui sera ensuite employée dans les pyramides à degrés d'Égypte. Le mode générique de la construction par degrés est mis en évidence par l'examen des ouvrages mineurs du génie rural et du vernaculaire (épierrements, aire de battage) (fig. 6).

La forme des différentes pyramides : pyra-

mides à degrés, lisses ou à texte, est engendrée par le système constructif utilisé, lui-même induit par les caractéristiques dimensionnelles de matériaux fournis par le site. Le choix du site est alors fonction de la présence de matériaux utilisables par rapport à l'outillage à disposition. Les grandes pyramides constituent une avancée technologique par l'invention de la « machine » capable d'élever les blocs de 2,5 tonnes, d'un gradin sur l'autre.

La rencontre avec les égyptologues français

Au cours d'une mission en avril 2001, j'ai pu donner une conférence, au CFCC (**SVP auteur développer le nom**) du Caire, devant un auditoire restreint concerné. L'accueil de la part des égyptologues présents a été attentif et les réactions pas toujours modérées, du fait de la présentation alors incomplète d'une démarche scientifique novatrice jugée trop affirmative. Si certains égyptologues présents connaissaient mieux que moi le poids (63 tonnes) du plus gros monolithe de granite de la chambre du roi, leur argumentaire général reprenait systématiquement les interprétations apprises de leurs pairs, et qui sont à l'origine

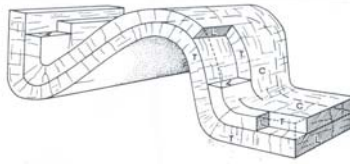
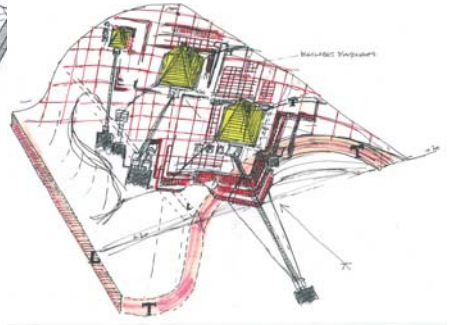
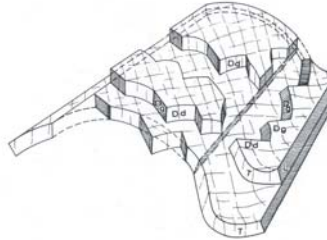


FIGURE 5

Schémas géologiques théoriques et implantation des pyramides.

Le schéma du dessus représente le pli anticlinal orienté NE-SO du plateau de Gizeh. En bas à gauche, l'organisation des fractures dans les plis selon M. Ruhland. On y distingue, les diaclases longitudinales (DL) parallèles à l'axe du pli, les diaclases transversales (DT) perpendiculaires à l'axe, ainsi que les diaclases diagonales droites (DDd) et gauches (DDg) par rapport à l'orientation axiale du pli. En bas à gauche, un croquis-simulation de l'orientation des grandes pyramides en fonction du réseau de fracturation naturelle des roches du plateau de Gizeh.



de mon travail de recherche et de ma thèse. De plus, mon approche fait appel à l'art de bâtir, à la géologie et aux métiers de la pierre, fondements du domaine de la construction, hors de leur champ de compétences.

Jusqu'alors, les différents architectes « pyramidologues » sont demeurés limités dans une vision géométrique et architecturale des pyramides, alors que les pyramides doivent être appréhendées et comprises comme des ouvrages tumulaires, c'est-à-dire comme des tas dont le commencement, l'accroissement et la forme finale ainsi produite et formée sont, de façon ontologique, en pyramide.

Ce que tout le monde peut voir et comprendre

Une nouvelle mission a été réalisée en juin 2003, composée d'experts professionnels des métiers de la pierre. Elle comprenait un géologue spécialiste des carrières et un carrier-tailleur de pierre. Cette expédition avait donc pour but de prendre connaissance, *in situ*, étudier, vérifier, confirmer (ou non) et rapporter, les différents points avancés dans la thèse, sur le plateau de Gizeh : en fait, vérifier qu'il est bien à la fois le site d'implantation et la zone d'emprunt des blocs (carrière) des trois

grandes pyramides.

Sans entrer dans le détail des vérifications opérées, il est néanmoins intéressant d'apporter quelques preuves imagées de ce que tout le monde peut voir et comprendre au pied des pyramides.

Sur le plateau de Gizeh, les diaclases principales longitudinales orientées N 40-50° et transversales ouvertes orientées N 135°, ont été vérifiées. Cependant, ce schéma simple est complexifié par un second jeu de failles relatives à un accident tectonique postérieur d'âge Oligocène, par jeu de *horst* et de *graben* (soulèvement et abaissement), combiné à un déplacement (effet de décrochement latéral dextre). Ces lignes de grandes fractures sont orientées en N 110-115°.

La théorie de Ruhland propose la combinaison d'un second réseau de petites diaclases diagonales (par rapport à l'axe) qui devraient être alors orientées N/S et E/O (N 0° et N 90°) fissurant les strates, selon une grille orthogonale. Ce réseau n'est pas évident à déceler, en général, et d'autant plus, ici, compte tenu de l'occupation du site, cependant certaines fissures semblent lui correspondre. Cette hypothèse réclame un approfondissement et des preuves tangibles.

Selon cette hypothèse, les strates les moins



Le tumulus « FO » à Bougon.



Le cairn de Barnenez.



Une aire de battage à Cippière.



Le cairn de l'île de Gravinis à Larmor-Baden.



Le cairn de La Joselière à Pornic.



Une barraca à Minorque aux Baléares.

FIGURE 6

Ouvrages du génie rural et du vernaculaire.

De nombreux ouvrages, en Bretagne notamment, évoquent le mode générique de la construction par degrés.

© P. Crozat.



Un empiérement dans le Causse de la Selle.

épaisses auraient fourni les modules de « blocs unitaires » les plus courants ; quant aux strates plus épaisses, on peut observer et reconnaître que des blocs à construire « de même module que les hypothétiques blocs unitaires » précédents « ont été tirés des massifs naturels donnés par la fracturation et/ou dégagés par un quadrillage de tranchées, par dédoublement et découpe, selon les observations faites ». L'hypothèse est à fouiller. Il est néanmoins possible d'observer qu'un certain régime de fracturation fine (diagonale ?) est inversement proportionnel à l'épaisseur des strates ou bancs de pierre. Ces strates sont de qualités, d'épaisseurs et de faciès différents, certains bancs sont bien repérables, particuliè-

rement riches en fossiles spécifiques du calcaire d'âge lutétien, les nummulites (fig. 7).

La pyramide de Chéphren comporte un socle de roche mère (*bed-rock*) repérable sur une grande partie de son pourtour de cinq à six assises entaillées « les grandes diaclases au sol remontent jusqu'à ce niveau –, comportant des entailles (rebouchées) où le professionnel reconnaît des stigmates d'extraction (boîtes d'extraction) et de coins. Ces boîtes d'extraction ont laissé aussi des stigmates au sol de carrière, dont on peut reconstituer la grille (fig. 8).

D'un point de vue opératoire, l'extraction de blocs dans une strate trop épaisse, nécessite l'emploi d'outils du type « pic » pour réaliser les tranchées, des coins d'écartement et des

boîtes d'extraction dont les experts de la mission ont retrouvé et identifié des traces probantes, à de nombreux endroits. (fig. 9)

D'autres traces d'outils ont été repérées dont l'interprétation pose un problème, certains y voient des boîtes à coin taillées à la gouge, d'autres les stigmates d'un taillant du type Polka ou Chaouta ou même un ciseau à grains d'orge.

En 2004, de nombreuses vérifications ont été effectuées dans des domaines différents : scientifique, technique et opératoires, et concernent respectivement la géologie de l'ingénieur, l'art de bâtir, les savoir-faire des métiers de la pierre (mode d'extraction).

Des preuves géologiques

L'étude géologique approfondie (structure et stratigraphie) permet d'affirmer que les matériaux calcaires constitutifs du gros-œuvre ont bien été empruntés « alentour » au gisement du plateau de Gizeh et que la structure du plateau est conforme à l'hypothèse émise dans la thèse. Une restitution de la paléo-topographie du pla-



FIGURE 8

Stigmates d'extraction aux abords de la pyramide de Chéphren.

a) Boîte d'extraction ;

b) traces laissées au sol par les boîtes.

© P. Crozat.



FIGURE 7

Bancs de pierres montrant le régime de fracturation.

Les strates ou bancs de pierre sont d'épaisseurs et de faciès différents. Les moins épaisses auraient fourni les blocs unitaires les plus courants.

© P. Crozat.

teau (avant exploitation) a été établie.

D'après cette restitution (en cours), il est probable que la chambre de la Reine de la pyramide de Chéops soit située sur le plateau préexistant à la construction (l'anomalie de structure repérée par le géoradar pourrait être alors une simple diaclase ouverte, de même type que celle du couloir descendant).

Le sphinx – constitué d'une « laisse de carrière » – montre la stratigraphie et le pendage régulier du plateau ainsi que certaines diaclases du système de fracturation diagonal (fractures qui n'ont pas été prises en considération dans le relevé existant), ainsi que l'épaisseur et la qualité des roches de la zone d'emprunt correspondant à la pyramide de Chéphren. En particulier, la tête du sphinx

(plus sombre) est composée de la strate Observatory. D'autres affleurements de cette strate (pyramide de Khent Kawes) sont repérables sur le site (fig. 10).

Des preuves dans l'art de bâtir

De nouvelles photographies aériennes, mises à notre disposition (publiées par *National Geographic*), des sommets et arêtes des grandes pyramides indiquent clairement que les blocs calcaires constitutifs sont quasi normalisés et disposés en boutisse (perpendiculairement à la face considérée) tels que l'impose le système constructif dit d'accroissement pyramidal proposé.

Les entailles des blocs dus à l'appareillage horizontal à décrochement visibles aux sommets interdisent une mise en place par assises horizontales (à l'aide de rouleaux), et donc toute théorie « rampiste ».

Une première modélisation conjuguée (théorique) extraction - construction de l'accroissement pyramidal a été réalisée (par des élèves de l'École des mines de Nancy) (fig. 11).

Des preuves dans les savoir-faire

Une étude des stigmates d'extraction en carrière horizontale aux alentours de chacune des



FIGURE 9

Traces de démisage.

Les traces d'une tranchée et d'un coin d'écartement sont visibles à gauche et à droite de la photographie respectivement. © P. Crozat.

trois pyramides de Gizeh montre, d'une part, des marques de démisage (différences de niveau des découpes de blocs en sous-face, dues au pendage) et des boîtes de démisage disposées régulièrement. Ces stigmates d'extraction correspondent aux dimensions des blocs mis en œuvre, en pyramide (fig. 12).

Encore d'autres preuves

En 2005, une mission à Gizeh a permis de découvrir des « tectoglyphes » (dépôts de calcite et stries) sur la face nord du socle de roche en place (*bed-rock*) de la pyramide de Chéphren. Ces écritures de micro-tectonique, ici horizontales – dues au cisaillement entre massifs prédécoupés – attestent de l'existence du réseau diagonal de fracturation E/O que prévoyait la théorie Ruhland. Le réseau symétrique N/S ne peut manquer d'exister (il n'a pas encore été recherché). La calcite est ici teintée d'oxyde de fer que certains auront pris pour une peinture des pyramides.

En 2006, il a été retrouvé des carrières d'extraction manuelle, encore en activité, sur la rive orientale du Nil, à Hilwan (proche de Tourah). Une première observation indique clairement que l'exploitation se fait selon une géométrie diagonale par rapport au grand réseau de fracturations principales, ce qui indique qu'aujourd'hui comme hier, l'exploitation des carrières se fait en fonction du système secondaire diagonal de fracturation et non pas selon le premier système des grandes diaclases principales (fig. 13).

Une table ronde franco-égyptienne

Au point où se situe aujourd'hui cette recherche – l'essentiel étant d'ores et déjà assuré – il convient, pour en parfaire la démonstration, de la compléter par des études spécifiques réalisées par des instituts de recherches et des modélisations



FIGURE 10
Le sphinx et la stratigraphie du plateau de Gizeh.
 La tête du sphinx apparaît plus sombre, elle est composée à partir de la strate Observatory. © P. Crozat.

adaptées qui en simplifieront la compréhension et la communication.

Ces recherches complémentaires définitives seront réalisées en collaboration franco-égyptienne. Elles porteront sur le plateau de Gizeh et les trois grandes pyramides. Les études sur le plan scientifique porteront sur : la géologie, le système de fracturation du sphinx, la paléotopographie, la restitution du plateau préalablement à la construction des pyramides. (CNRS et Faculté de géologie Ain Chams).

Les études sur le plan technique porteront sur les zones d'emprunt et carrières, l'organisation de chantier, la modélisation complète de la construction par accroissement pyramidal, et du fonctionnement utilitaire (ascenseur oblique) de la grande galerie. (ENSMN et Faculté d'ingénierie de Gizeh). Quant aux études sur le plan opératoire, elles porteront sur la technique d'extraction à l'identique (en France et en Égypte), la détermination de la « machine » d'Hérodote et des outils utilisés (pierre, cuivre, bronze ou fer) (AOCDTF et carrier local)(SVP auteur expliquer le

sigle).

De l'ombre à la lumière ; du « mystère » au « génie »

Certains développent des spéculations métaphysiques sur la sacralité du site, la géométrie occulte de leur implantation, de leur forme et de leurs proportions (pour celle de Chéops), sur une pseudo-orientation astronomique et sur des travaux forcés imposés à des esclaves,

propos qui émanent d'un culte du mystère ouvrant toute grande la porte à l'égyptomanie, à la religiosité, l'ésotérisme... À l'opposé, il y a la mise en lumière de l'Homme au travail, de son intelligence, de la continuité évolutive des savoir-faire des métiers, de

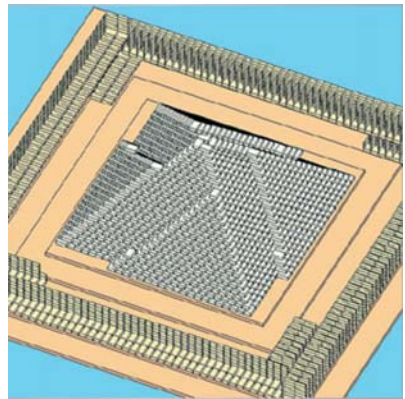


FIGURE 11
Résultat d'une simulation informatique.
 La pyramide représentée ici est issue de la première modélisation de l'extraction des pierres et de la construction par « accroissement pyramidal ». © P. Crozat.



FIGURE 12

**Stigmates de démisage
au pied de la pyramide de Chéops.**

Sur cette vue aérienne, on distingue les traces de démisage dont les dimensions correspondent à celles des blocs mis en œuvre dans la pyramide. © P. Crozat.

l'ampleur et l'ingéniosité du travail collectif consenti, de l'ouvrier qui trouvera la méthode adaptée selon le principe d'économie d'efforts et de moyens, et qui ainsi engendre l'ouvrage dans son génie (du grec *geneia* : formation-production).

Ce savoir aurait-il été occulté par une caste, un pouvoir, un métier ? Les tenants des mystères dissertent dans cette direction, il apparaît néanmoins que ce savoir-faire des pyramides en Égypte relève avant tout d'une pratique cumulative, additionnelle, récurrente dont on peut observer l'évolution au travers des ouvrages tumulaires, en remontant ce continuum technique des ouvrages tumulaires : cairn, dolmen, galgal, jusqu'aux gestes constructifs anthropomorphiques premiers du vernaculaire de l'art de bâtir : les épierrements du génie rural du Néolithique.

En fait, cette connaissance aura été simplement oubliée par manque de pratique ! Néanmoins les prêtres égyptiens pourront transmettre à Hérodote – qui n'était pas particulièrement technicien – 2 000 ans après, une formulation technique, précise et concise qu'il nous a rapportée – peut-être sans trop bien la comprendre lui-même – et qui contient, à l'évidence, qu'on le veuille ou non,



une méthode : un système constructif qui fabrique (qui ne fabrique que de) la pyramide.

Le débat est ainsi relancé, sinon clos

Si la démarche scientifique implique le doute méthodique, la modélisation, l'expérimentation, des approximations (voire des erreurs) successives, la géologie de l'ingénieur échappe à ce postulat. En effet, cette science d'observation de la Terre nous montre à constater, *in situ*, des preuves tangibles valables « pour tous et pour toujours » vieilles de 45 millions d'années, pour l'âge lutétien.

Dans le domaine technique, le doute n'existe guère, car en effet dans l'art de bâtir, l'ingénierie et l'architecture, toute construction est faite selon une certaine technique (qu'il s'agit de retrouver), technique adaptée qui engendre sa production et sa forme.

Quant au domaine opératoire, qu'il faudrait mettre en premier en ce qui concerne les pyramides comprises dans le continuum technique des ouvrages tumulaires, il est fondé sur le savoir-faire, acquis par la pratique de mise en œuvre, sur le tas. Bien évidemment, le carrier égyptien de l'Ancien Empire ne connaissait pas la théorie de la fracturation naturelle des roches, mais ne pouvant l'éviter (hier comme aujourd'hui) bien au contraire, il la repéra et s'en servit, puisque cette fracturation existe bel et bien, sur le plateau de Gizeh, depuis son plissement tectonique (35 millions d'années).



FIGURE 13
Carrières d'Hilwan.

Aujourd'hui comme hier, les pierres sont extraites selon un axe diagonal par rapport aux fracturations principales. © P. Crozat.

Le paradoxe veut néanmoins qu'il ne saurait être question, ici et maintenant, d'opposer « belles lettres » et « sciences et techniques », mais bien d'offrir un exemple de leur complémentarité : en effet, sans les écrits d'Hérodote, l'information aurait été perdue à tout jamais faute de continuation de la tradition orale fondée sur la « pratique » en pyramide, de même que sans une appréhension scientifique, technique et opératoire, ils sont demeurés incompris durant 2 500 ans. On peut même ajouter au paradoxe que sans la mémoire des prêtres égyptiens de Ptah à Memphis rien ne nous serait parvenu.

P. C.

Pour en savoir plus

P. CROZAT, *Le génie des pyramides*, Éd. Dervy, 2002, Paris.

P. CROZAT, thèse INPL/ENSMN/Laego, *Le génie des pyramides*, 2002.

A. CHOISY, *l'Art de bâtir chez les Égyptiens*, 1904.

TH. W. DANZEL, *Magie et science secrète*.

Diodore de Sicile (*Naissance des Dieux et des Hommes*, livre I).

Hérodote, *L'Enquête*, Livre II - § 125 et 126, traduction d'Andrée Barguet.

G. IFAH, *L'histoire universelle des chiffres*.

E. MORIN, *Introduction à la pensée complexe*, ESF éditeur, 1990.

M. RUHLAND, *Sci. Géol. Bull.*, Recherches sur la fracturation naturelle des roches, 1969-1972.

@

<http://pierre.crozat.free.fr>

Architecte-urbaniste diplômé de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse, 1971), prix SVIA, **Pierre CROZAT** est docteur de l'Institut national polytechnique de Lorraine/École nationale supérieure des mines de Nancy. Il est l'auteur de *Système constructif des pyramides*, Éditions Canevas, France, 1997 ; *Le génie des pyramides*, Éditions Dervy, Paris, 2002 ; *Mesure & grands chantiers - Les grandes pyramides*, publié par l'Ordre des géomètres-experts, 2002.