

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE
ECOLE DES MINES DE NANCY
LABORATOIRE ENVIRONNEMENT GÉOMÉCANIQUE ET OUVRAGES
ECOLE DOCTORALE PROMEN

N° attribué par la Bibliothèque :

||_|_|_|_|_|_|_|_|

THESE

présentée en vue d'obtenir le grade de
DOCTEUR de l'INPL
En Génie Civil – Hydrosystèmes – Géotechnique

par

Pierre Crozat

le 29 Novembre 2002

Le Génie des Pyramides

Directeur de Thèse : Jack-Pierre Piguet
Co-directeur de thèse : Thierry Verdel

devant le **JURY** composé de :

Andre Guillaume	Rapporteur
Jean-Pierre Mohen	Rapporteur
Jean-Claude Bignon	Examineur
Hany Helal	Examineur
Jack-Pierre Piguet	Directeur de thèse
Thierry Verdel	Co-directeur de thèse
Djelloul Aissaoui	Invité
Eric Clément	Invité
René Morel	Invité

PREAMBULE

Je cite en préambule le texte que Monsieur Farouk Hosni, ministre de la culture du gouvernement égyptien à l'époque, a bien voulu écrire en préface de mon livre « Systèmes constructifs des pyramides » édité en 1997 :

« Voici cinq mille ans commence l'histoire écrite de l'Egypte, mais celle-ci a déjà une longue expérience humaine derrière elle, son territoire agricole est définitivement acquis, les éléments de la religion constitués, sa langue et son écriture sont fixées, ses institutions essentielles établies », dit Jean Vercoutter.

L'arithmétique (en base décimale) et la géométrie (cadastrale) sont pratiquées et mises en oeuvre.

En réalité, les origines de la civilisation égyptienne ne peuvent se dater, elles se confondent avec la naissance du paysage humain en Egypte, avec la prise de possession par l'homme de la vallée du Nil.

Néolithique, énéolithique, pré-dynastique et dynastique, la continuité est permanente, évolutive et synthétique, de la tradition orale au mythe, du mythe à l'histoire, la mémoire est originelle et essentielle, venue du fond des âges.

Aujourd'hui, l'étude de la civilisation égyptienne, qui précède les Antiquités grecque et romaine, constitue la base de l'humanisme moderne. Elle concerne désormais l'humanité entière et relève du patrimoine mondial.

Par bonheur, les vestiges sont nombreux bien que parcellaires, omniprésents et concrets, qui interpellent la curiosité, suscitent la recherche et nourrissent la connaissance et le savoir. Mais aussi, depuis l'Antiquité, ces vestiges ont attiré pilleurs, envahisseurs, aventuriers et savants, qui par intérêt ont dilapidé et spolié l'héritage de l'ancienne Egypte. Paradoxalement, ces emprunts ont néanmoins révélé au monde entier la richesse de la civilisation égyptienne, son apport culturel fondamental, et ouvert le champ de l'égyptologie.

Cependant, il nous semble important de nous interroger sur la continuité, qui est aussi oubli, des connaissances et des techniques utilisées, et particulièrement sur le sujet de cet ouvrage, à savoir la construction des pyramides de l'Ancien Empire.

Lorsqu'en l'an 198 de l'hégire, le calife Al Mamoun fit forer un passage dans la pyramide de Khéops avec «le feu, le vinaigre et le levier», on peut s'interroger sur la connaissance probable des dispositifs intérieurs qui le mène à s'attaquer d'emblée à la face nord, mais surtout à la bonne hauteur et au bon endroit, celui des blocs-tampons qui obstruent le couloir ascendant.

Quand Hérodote relate le système de construction par degrés successifs et invente les termes de «bomides» et «krossai», quel est alors le degré de connaissance du procédé de construction des prêtres égyptiens, deux mille ans après l'édification de la pyramide?

Faut-il penser que cette connaissance est désormais perdue, oubliée ou occultée, ou bien qu'elle subsiste quelque part, dans un coin endormi de notre mémoire civilisée, de notre savoir moderne ? L'évolution perpétuelle des sciences, techniques et mathématiques, n'aurait-elle pas enfoui ce savoir premier, primitif, voire néolithique, sous des amas de connaissances

postérieures ?

Toujours est-il que l'ouvrage de Pierre Crozat, en remontant le temps et le fil des techniques, débouche sur un procédé plausible, scientifique, de construction des pyramides ; système simple dans son principe et ses moyens, complexe dans ses développements, qui lance un regard lumineux, derrière nous, sur l'intelligence de l'homme et le génie des architectes des pyramides.

Dès lors qu'il est publié, ce concept scientifique et technique ne peut être évacué et ne manquera pas d'interpeller la communauté internationale.

L'avenir nous le dira... » Farouk HOSNI

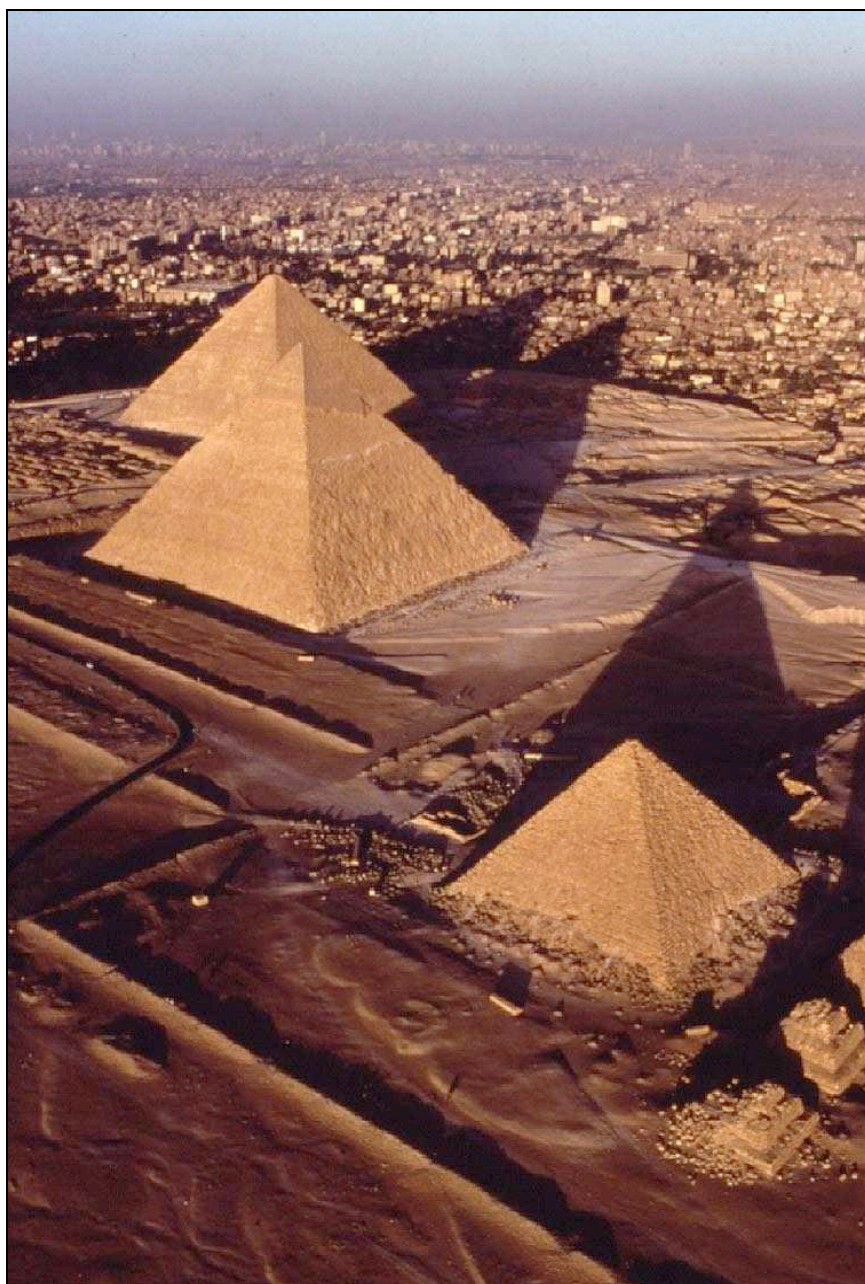


Figure 1. Les trois grandes pyramides de Gizeh : Khéops, Khéphren et Mykérinos. A l'arrière-plan l'urbanisation de la ville du Caire

Institut National Polytechnique de Lorraine - INPL
École Nationale Supérieure des Mines de Nancy - ENSMN
Laboratoire Environnement ,Géomécanique et Ouvrages – Laego

Thèse de doctorat de **Pierre Crozat** – architecte EPF-L

en

"Génie civil, Hydrosystèmes et Géotechnique
intitulée

« le génie des pyramides »

soutenue le 28 Novembre 2002 à Nancy

TABLE DES MATIÈRES

Préambule.....	x
Table des Matières	x
1. Introduction	1
2. Etat actuel de la question.....	9
2.1. Les théories mystiques	10
2.1.1. Théories bibliques	10
2.1.2. Théories théosophiques	11
2.2. Les Théories pseudo-scientifiques	11
2.2.1. Théories astronomiques.....	11
2.2.2. Théories mathématiques.....	12
2.3. Théories constructivistes	12
2.3.1. Théories des rampes frontales	12
2.3.2. Théories de l'accrétion et des engins de levage.....	12
2.3.3. Théories des rampes latérales ou enveloppantes.....	13
2.3.4. Une théorie inclassable : la théorie des écluses.....	13
2.3.5. Discussion	13
3. Analyse critique des théories constructivistes.....	19
3.1. Le système à rampe frontale.....	19
3.1.1. Lecture d'I.E.S. Edwards	22
3.1.2. Lecture de Rainer Stadelmann	24
3.1.3. Lecture de Jean-Pierre Adam	25
3.1.4. Lecture de Jean Kerisel	26
3.2. Le système à rampes latérales ou enveloppantes	27
3.3. Le système par accrétion et outils de levage	29
3.3.1. Lecture d'Hérodote	30

3.3.2.	Lecture de Louis Albertelli (1993).....	31
3.4.	Le système en lui-même.....	32
3.4.1.	Lecture de Kurt Mendelssohn (1974).....	32
3.4.2.	Lecture de Eric Guerrier (1981).....	36
4.	Démarche et Postulats	41
4.1.	Une question d'architecte-ingénieur constructeur	41
4.2.	Trois postulats	41
4.3.	Cinq éléments d'analyse	42
5.	Kheops : la pyramide révélatrice.....	45
5.1.	Analyse du texte d'Hérodote	45
5.2.	Les différents types de pierre	48
5.2.1.	Les différents types de pierre	48
5.2.2.	Techniques de mise en oeuvre	50
5.2.3.	Les dispositifs intérieurs.....	51
5.3.	En conclusion	51
5.4.	Avis aux hellénistes distingués	53
6.	Principes constructifs fondamentaux.....	57
6.1.	Utilisation des matériaux disponibles sur place	57
6.2.	L'équilibre des masses.....	57
6.3.	Les performances techniques des matériaux sont spécifiques et limitées.....	58
6.4.	L'économie d'efforts et de moyens.....	59
6.5.	La répétition d'un mouvement élémentaire	60
6.6.	L'outil est propre à l'homme.....	60
6.7.	Les nombres, l'arithmétique	62
6.8.	L'homme est parfois conscient de la brièveté de la vie, mais surtout de l'éternité de la mort.....	66
6.9.	« Je ne pense que ce qui est réalisable ».....	67
6.9.1.	Le site	68
6.9.2.	Technique de manipulation	70
6.10.	Le recours à la modélisation.....	70
6.11.	Le système d'exhaussement.....	71
7.	Le procédé d'accroissement pyramidal.....	75
7.1.	Modélisations	75
7.2.	L'algorithme	77
7.3.	Les séries arithmétiques figurées de Pythagore	78
7.4.	Le mode opératoire.....	81
7.5.	La façon de commencer le tas	83
7.6.	L'appareillage des blocs	85
7.7.	La pratique précède la théorie	87
7.8.	La machine faite de courtes pièces de bois	88
7.9.	La dernière enveloppe sera ravalée	90

8.	Dispositifs intérieurs.....	93
8.1.	Un faisceau de plans inclinés construits par anticipation.....	93
8.2.	La Chambre du Roi	95
9.	La Grande Galerie de la pyramide de Kheops.....	99
9.1.	La sape d'Al-Mamoun en 827	99
9.2.	Mise en place des monolithes sur le faisceau de plans inclinés	100
9.3.	Un espace fonctionnel et utilitaire.....	102
9.4.	Un extraordinaire ascenseur oblique.....	106
10.	Provenance des Matériaux.....	109
10.1.	Rappel de l'hypothèse des carrières alentour.....	109
10.2.	Méthodes d'extraction en carrières.....	112
10.3.	Les reliquats de carrières sur le plateau de Gizeh	115
10.4.	Les emprunts d'extraction.....	116
10.5.	L'appareillage horizontal à décrochement.....	118
10.6.	Fracturation naturelle des roches.....	119
10.7.	Orientation et implantation des pyramides de Gizeh	121
11.	Un Continuum technique.....	123
11.1.	Principe de l'évolution technique	123
11.2.	Les pyramides à degrés	123
11.3.	Modélisation de la construction des pyramides à degrés	125
11.4.	Les pyramides à texte	131
11.5.	L'anachronisme des pyramides d'Abousir	132
11.6.	L'évolution de l'outillage	133
11.7.	Conclusion.....	135
12.	L'Accrétion - Exhaussement.....	137
12.1.	Principe générique de la construction par degrés.....	137
12.2.	Du Vernaculaire au Génie des Ouvrages	138
12.3.	Exemples d'édifices à degrés.....	140
12.4.	Epierréments ruraux	141
12.4.1.	Épierrément enserré de Sault.....	142
12.4.2.	Mur de soutènement de terrasse à degrés.....	142
12.4.3.	Aire de battage de Cipierre (Alpes Maritimes)	143
12.4.4.	Epierrément à degrés de Cipierre (Alpes Maritimes).....	143
12.4.5.	Murs de soutènement de cultures en terrasse à Nice (alpes Maritimes)	143
12.5.	Cairn, Dolmen et Fortifications.....	144
12.5.1.	Cairn de Barnenez en Plouezoch (Finistère- France).....	144
12.5.2.	Cairn de Gavrinis (Morbihan, France)	146
12.5.3.	Dolmen de la Joselière à Pornic (Loire-Atlantique, France).....	146
12.5.4.	Les remparts superposés du Châtelet d'Etaule (Côte d'Or)	146
12.6.	Capitelles, murs et Barracas de Minorque	146

12.7.	Le domaine des Tumulus de Bougon (Deux Sèvres).....	148
12.7.1.	Plan du domaine du Musée des Tumulus.....	149
12.7.2.	Gisement pierreux sous-jacent du site.....	150
12.7.3.	Murets de clôture.....	151
12.7.4.	Tumulus A , contenant un dolmen à tables sur orthostates.....	152
12.7.5.	Bougon, Tumulus A, détail des parées.....	153
12.7.6.	Bougon, Tumulus A, détail.....	154
12.7.7.	Bougon, Tumulus Fo, vue extérieure et intérieure.....	154
12.7.8.	Bougon, Tumulus F1.....	155
12.8.	Etude typologique.....	155
12.9.	Un « système constructif » instinctif.....	158
12.9.1.	Homère - Odyssée - Traduction de Victor Bérard (1955).....	158
12.9.2.	L'échelle de Jacob, La Genèse, Bible, traduction de Louis Segond (1995).....	159
12.9.3.	« Les Mégalithes, pierres de mémoire », Jean-Pierre Mohen,1998.....	160
12.9.4.	Diodore de Sicile, Bibliothèque Historique Livre III (traduction de 1989).....	160
12.9.5.	« Un village préhistorique à Montpellier sur le plateau de Celleneuve », de Michel Lorblanchet et l'Abbé Mestre,BSPF, 1966, n°3.....	161
12.9.6.	« Voyage en Egypte et en Nubie » G. Belzoni - Editeur Pygmalion -Gérard Watelet PARIS 1979 - Collection "les grandes aventures de l'archéologie".....	161
12.9.7.	La carte postale du « Quai aux pavés » de la gare Syndicat Saint-Amé (Vosges).....	162
12.9.8.	Ravaneti des Carrières de Carrare.....	162
12.9.9.	Chantiers à Cotonou.....	163
12.10.	Les pyramides amérindiennes.....	163
12.11.	Les édifices tumulaires dans le monde.....	165
13.	L'Etablissement des preuves.....	171
13.1.	Observations relatives au plateau de Gizeh.....	172
13.1.1.	Contexte géologique, fracturation naturelle et zones d'emprunts.....	172
13.1.2.	Modes d'extraction.....	174
13.1.3.	Le quadrillage de tranchées.....	175
13.1.4.	Les zones d'emprunt de Kheops.....	177
13.1.5.	Les zones d'emprunt de Khephren.....	178
13.1.6.	Les zones d'emprunt de Mykérinos.....	180
13.1.7.	Conclusion relatives au plateau de Gizeh.....	181
13.2.	Observations relatives au site de Saqqarah.....	181
13.2.1.	Pyramide de Djoser.....	182
13.2.2.	Pyramide d'Ouserkaf (Vème dynastie).....	186
13.2.3.	Pyramide de Pepi Ier (VIème dynastie).....	186

13.2.4.	Pyramide d'Ounas (Vème dynastie)	186
13.2.5.	Pyramide de Mérenré (VIème dynastie)	187
13.2.6.	Conclusion relatives au plateau de Saqqarah.	187
13.3.	Observations relatives au plateau de Dachour	187
13.3.1.	Dachour nord et la pyramide « Rouge »	188
13.3.2.	Dachour sud et la pyramide « Rhomboïdale »	189
13.3.3.	Conclusions relatives au plateau de Dachour.....	189
13.4.	Observations relatives aux trois grandes pyramides de Gizeh.....	190
13.4.1.	Disposition des blocs au sommet de la pyramide de Kheops	190
13.4.2.	Les blocs du sommet de la pyramide de Khéops sont entaillés	192
13.4.3.	Les arêtes de la pyramide de Kheops.....	193
13.4.4.	Les enveloppes successives de la pyramide de Khephren	194
13.4.5.	Le revêtement final des trois pyramides	195
13.5.	Complément géologique	197
13.5.1.	Génèse	197
13.5.2.	La chaîne Libyque et la chaîne Arabique.....	199
13.5.3.	Le plateau de Gizeh.....	199
13.5.4.	Le plateau de Saqqarah	210
13.6.	Conclusion.....	221
13.6.1.	Zones d'emprunt et carrières	221
13.6.2.	La restitution du plateau de Gizeh.....	222
13.6.3.	La restitution du plateau de Saqqarah.	225
13.6.4.	Vérification des procédés d'extraction et de transport	225
13.6.5.	Les vérifications par simulations infographiques.....	225
14.	Niveau technologique sous l'ancien empire.....	227
14.1.	barrage sur Wadi Garawi ou connaissance de l'algorithme.....	227
14.2.	Traction animale.....	229
14.3.	Outils de levage	233
14.3.1.	Présence et utilisation du bois	235
14.3.2.	La roue, fille de l'art du potier.....	236
14.4.	Moyens de calculs	237
14.4.1.	Le ravalement de la pyramide de Khéops	238
14.4.2.	Calcul du nombre d'ouvriers pour la construction de la pyramide de Khéops.....	239
14.4.3.	Conclusion.....	241
15.	Algorithme ou Géométrie	243
15.1.	La construction serait-elle mère des mathématiques et l'Egypte le berceau ?.....	243
15.2.	Etudier n'est pas faire comme dessiner n'est pas construire.....	245
15.3.	Jeux d'ombres et de lumières.....	247
15.4.	Vous avez dit « gnomon » ?	249

15.5.	Gnomon, comme c'est bizarre !.....	252
15.6.	Des machines, des ouvrages et des hommes	256
15.7.	Mais où donc est-il aller chercher cela ? Dans l'ombre !	258
16.	Conclusion.....	263
16.1.	La synthèse généraliste du « bâtisseur »	263
16.2.	Les écrits d'Hérodote.....	264
16.3.	Concept générique.....	264
16.4.	Une connaissance oubliée ?.....	266
16.5.	« Je pense donc je suis » et réciproquement.....	267
16.6.	Le débat est relancé	268
16.7.	Le génie des ouvrages et des hommes	268
17.	Bibliographie	269
	Liste des figures et tableaux (hors annexes).....	x
A1.	Les grandes divisions de l'Histoire de l'Egypte.....	x
A2.	Echanges avec les spécialistes.....	x
	Les réponses cordiales.....	x
	Les réponses d'encouragement	x
	Les réponses critiques de contradicteurs	x
A3.	Les travaux de Mark Lehner.....	x
	Un travail intéressant.....	x
	Graffiti d'ouvriers	x
	Rampe hélicoïdale	x
	Stigmates d'extraction	x
	La tête du Sphinx.....	x

1. INTRODUCTION

A l'heure où l'humanité conquiert l'infiniment grand et l'infiniment petit, où la science décrypte les secrets de la vie, un tas de pierres, mais quel tas, vieux de cinq mille ans, se refuse à notre entendement. Quelle leçon d'humilité ! A quoi cela tient-il ? Que nous manque-t-il pour comprendre, appréhender, concevoir un tel ouvrage, fait de main d'homme ?

Heureusement pour nous, le pharaon Khéops a fait construire cette pyramide, septième merveille du monde antique, et le temps ne l'a pas altérée fondamentalement. Elle nous rappelle que la mémoire est fondement de l'humanité.

Précisons d'emblée que notre sujet n'est ni une thèse philosophique, ni une recherche historique ou archéo-égyptologique, mais bien le projet d'un constructeur architecte-ingénieur qui cherche à répondre à une seule question : comment a-t-on pu construire les pyramides ? Bien sûr, nous serons amené à rechercher les outils, les raisonnements, les méthodes, et à confronter nos spéculations aux observations, mesures et théories existantes. Ces observations, mesures et théories ne sont pas toujours très rigoureuses et sont trop souvent contradictoires. Chacun aura donc tendance à interpréter un texte en fonction de ce qu'il cherche à prouver, à ne voir et observer que ce qui le sert et à passer sous silence ce qui le contredit. En effet, lorsqu'il s'agit de faire acte d'originalité et de sensationnel, le mystère et la mystification se vendent très bien.



Figure 2. Vue du plateau de Gizeh, depuis la plaine du Nil, avant l'urbanisation !

Mettant à profit le temps libre ménagé par la baisse d'activité professionnelle, l'ingénieur-architecte que nous sommes s'est lancé dans ce travail un peu solitaire pour le confronter aux dépositaires du savoir officiel capitalisé. Il ne manquera pas de déranger et de provoquer des réactions avisées.



Figure 3. Vue des trois grandes pyramides de Gizeh depuis le plateau (arrière)

La connaissance bibliographique suffirait-elle à la compréhension ? Où se réfugie et s'extrait l'intuition ? Et comment l'exploiter ? Le raisonnement logique est-il linéaire, continu et progressif ? Ou bien circulaire, global et foisonnant ?

Si la démarche scientifique nécessite l'expérimentation renouvelable, ce travail est scientifique, la modélisation proposée l'atteste.

Pour revenir à l'ouvrage, les documents archéologiques sur la construction des pyramides se réduisent à quelques papyrus (Rhind à Moscou, Kahun à Berlin) qui donnent des aperçus de calculs de pente peu compréhensibles. Est-ce à dire que des documents auraient disparu (incendie de la bibliothèque d'Alexandrie), que la connaissance était l'apanage d'une élite occulte que certains veulent retrouver dans la symbolique et l'ésotérisme, ou bien ce savoir était-il si naturel, banal, méthodique et utilitaire, qu'il s'est fondu dans la connaissance, par manque d'objet, de besoin, de motivation ?

En effet, que faire après Khéops, Khéphren et Mykérinos : d'autres pyramides ? Encore plus grandes, plus pointues, plus parfaites ? Pouvait-on couvrir toute la rive occidentale du Nil de pyramides ? Les pharaons avaient-ils tous les moyens, l'autorité et le temps nécessaire à leur édification ? Toujours est-il que le phénomène des grandes pyramides s'éteint peu après celle de Khéops.

On imagine bien la fourmilière d'ouvriers et l'ordonnancement obligé pour une telle construction. Mais de quelle façon a-t-on réussi à constituer un amas de pierre aussi parfait ? Est-il possible d'imaginer un système de construction des pyramides qui débiterait par une pyramide élémentaire, originelle, sur laquelle s'appuierait la réalisation d'une seconde pyramide un peu plus grosse, et ainsi de suite, où il suffirait de poser une pierre sur deux

autres et de recommencer, indéfiniment, jusqu'à bâtir une immense pyramide de pierre, par grossissement volumique homothétique ?

Ce système est-il appréhensible, décomposable en unités élémentaires simples, envisageables avec les moyens de levage de l'époque ? Peut-on en supposer une démultiplication qui constituerait la forme-masse pyramidale, tout comme l'unité constitue par additions successives l'ensemble des nombres naturels, triangulaires, carrés, pyramidaux, etc., de l'arithmétique, dont l'invention remonte à cette époque en Egypte.

Peut-on penser que la pyramide de Khéops soit la matérialisation physique et constructive de la connaissance arithmétique de l'époque, ou inversement, que la pyramide soit le support matériel de la création de l'arithmétique ? Toujours est-il que par sa réalité matérielle et construite, la pyramide constitue bien l'expression d'un savoir, aboutissant à une forme géométrique simple et parfaite qui interpelle la connaissance humaine depuis cinq mille ans.

Le travail de recherche ci-après présenté, on l'aura compris, appréhende le mode de construction de la pyramide sous un angle nouveau, jusqu'ici non conceptualisé et donc non développé, bien que certains historiens ou savants égyptologues aient partiellement participé de la même vision ; en particulier Hérodote dans sa relation des dires des prêtres égyptiens, et Richard Lepsius dans sa théorie des « accrétiens », critiqués par de nombreux auteurs.

Aujourd'hui, la relation avec les égyptologues des grands instituts internationaux est rendue délicate par notre non-appartenance d'une part, et par le fait surtout qu'ils sont souvent les auteurs d'une théorie personnelle contestée dans ce travail, en particulier Jean-Philippe Lauer (théorie de la rampe frontale), Georges Goyon (théorie de la rampe-échafaudage enveloppante) et Jean-Pierre Adam ou Jean Kérisel (théorie mixte), pour ne citer que les français contemporains.

La meilleure façon de saisir la communauté internationale des égyptologues est donc de présenter ce travail en dehors de cette communauté.

L'étude de la civilisation égyptienne relève de nombreuses disciplines : histoire, archéologie, philologie, théologie, sciences naturelles, médecine, etc. De même du Génie Civil (rural, militaire et religieux), de l'Architecture et de la Construction ; toutes ces expressions concourent à un élargissement et un approfondissement des connaissances égyptologiques¹ et de l'Histoire universelle.

Avant d'appartenir aux domaines de l'Archéologie et/ou de l'Égyptologie, le mode de construction des pyramides relève par essence de l'Art de bâtir, de la construction, du génie civil et/ou de l'architecture et de l'histoire de ces disciplines techniques. Qui s'étonnera que les architectes, les ingénieurs et autres techniciens se sentent concernés au premier chef par ce problème, qui est le leur : celui de construire et comment construire.

1. L'Égyptologie existe depuis l'Antiquité, cependant elle fut orientée en termes scientifiques par l'expédition d'Égypte de Bonaparte (1798-1802), qui, en accompagnement du corps militaire, comprenait 150 scientifiques, architectes et artistes, dont les premiers élèves de l'École Polytechnique, nouvellement créée, et son directeur Gaspard Monge. Les résultats seront publiés dans « Les descriptions d'Égypte » aux Editions Panckoucke (1821-1829)



Figure 4. Vue aérienne du plateau de Gizeh, des pyramides et de la nécropole

On est même en droit de penser que l'approche des techniciens praticiens expérimentés, en termes de conception de projets, de logique pragmatique du chantier et de professionnalisme des métiers, est fondamentale, singulière et enrichissante pour les non-bâisseurs, et peut ainsi apporter sa propre contribution à cette étude.

Car en fait, les bâtisseurs des pyramides d'Egypte n'étaient autres que des architectes, ingénieurs, chefs de chantier, carriers et maçons, ancêtres de ceux d'aujourd'hui, et il y a fort à parier que les logiques constructives d'hier ne sont pas si différentes de celles d'aujourd'hui.

C'est dans le Vernaculaire qu'il faudra rechercher ces processus d'adaptation, ces logiques constructives premières, ce pragmatisme essentiel qui fait que l'on utilise les matériaux disponibles sur le site, que l'on économise, par obligation, les moyens et les efforts, que l'on capitalise les expériences et les savoir-faire des métiers dans la Tradition.

Après les mastabas des Ière et IIème dynasties et les pyramides à degrés de la IIIème, les grandes pyramides lisses de la IVème dynastie, et particulièrement la Grande Pyramide de Khéops, en sont l'une des manifestations primordiales et leur mode de construction demeure, encore aujourd'hui, une véritable énigme.

Les pyramides d'Egypte	Les grandes dynasties de l'Ancien Empire ou Empire Memphite	
1) Les mastabas / I ^e et II ^e dynasties	III ^e dynastie (2700-2620) Cinq rois de Neterikhet-Djeser à Houni	Début de l'architecture de pierre. Complexe de la pyramide de Djeser à Saqqarah
2) Les pyramides à degrés / III ^e dynastie		
3) Les pyramides lisses / IV ^e dynastie	IV ^e dynastie (2620-2500) Six ou sept pharaons de Snéfrou à Skepseskaf dont Khéops, Khéphren et Mykérinos.	Grandes pyramides et complexes funéraires : temple de la vallée, allée montante (de la vallée au plateau), temple funéraire accolé à la pyramide
4) Les pyramides à textes / V ^e et VI ^e dynastie	V ^e dynastie (2500-2350) Neuf pharaons de Ouserkaf à Ounas. Les plus connus sont Sahouré et Djédkaré-Isei	Temples solaires royaux à obélisque construit et autel monumental. Mastabas décorés pour hauts fonctionnaires. Développement des inscriptions dans les pyramides
5) Les pyramides en brique / XII ^e dynastie		
6) Les pyramides de Nubie / XX ^e dynastie	VI ^e dynastie (2350-2180) Sept rois de Téli I à la reine Nitocris. Pépi I et II appartiennent à cette dynastie. Pépi II meurt centenaire	Tombes princières en province.

Tableau chronologique schématique des types de pyramides et des dynasties d'Egypte

Ce travail de recherche repose sur les connaissances techniques et les savoirs-faire de l'architecte - ingénieur praticien. C'est un travail de longue haleine, peut-être même une forme de persévérance sinon d'entêtement, puisqu'il se développe par étapes et circonvolutions, découvertes et interrogations successives, ouvrant sur des domaines scientifiques, techniques et opératoires qui réclament hypothèses, développements d'études et vérifications in situ.

L'exemple de la question de la provenance des matériaux illustre bien la méthode développée, méthode qui n'est pas un choix ou volonté délibérée mais au contraire la suite ou « logique » des questions qui se posent d'elles-mêmes au fur et à mesure du chemin.

Ce chemin n'est pas une approche descriptive ou esthétique, pas plus qu'historique ou égyptologique, encore moins ésotérique ou symbolique, c'est l'approche de celui qui cherche « comment faire », le chemin « du faire ».

Cette recherche commence donc à la question primordiale de l'ingénieur-architecte que nous sommes : « si j'avais à construire une pyramide, comment ferais-je ? »

Pour y répondre, nous avons suivi le déroulement suivant : partant de recherches antérieures publiées dans « Système constructif des pyramides² » qui font l'objet des chapitres 2 à 9, nous avons développé notre réflexion, à la suite d'échanges avec des égyptologues (échanges qu'on retrouvera en partie dans l'annexe 2), afin de répondre aux avis recueillis concernant la provenance des matériaux (chapitre 10), l'évolution de la méthode constructive proposée (chapitres 11 et 12), la fourniture de preuves archéologiques (chapitre 13) et la mise en évidence d'une pensée ouvrière.

Les chapitres 2 et 3 font donc l'état de la question. On y propose une lecture et une analyse des différentes études et propositions de « théories », pour les ordonner et les classer. Parmi les « théories » retenues parce que jugées « constructives », la lecture attentive et l'analyse

2. *Système Constructif des Pyramides*, Pierre Crozat, 1997, Ed. Canevas-France.

critique de la méthode et de la technicité de la solution proposée s'imposent, pour chacun des auteurs. Le diagnostic du professionnel s'impose alors. Les solutions proposées ne sauraient le satisfaire : les théories « rampistes » sont trop contraires à la notion d'économie d'effort, tant en ce qui concerne la provenance des matériaux que le système d'élévation des blocs et monolithes, les théories « machinistes » ont ignoré la méthode de construction pour ne s'intéresser qu'à la « machine » et ne peuvent résoudre la mise en place des monolithes de granite de la Chambre du Roi. Quant aux théories « mixtes » loin de résoudre le problème, elles ne font que le compliquer.

Nous proposons donc ensuite les fondements notre approche dans les chapitres 4 et 5. La distinction des différents types de pierres constitutives de la Grande Pyramide et l'énoncé des principes de construction, posées en « postulats » comme autant d'hypothèses à développer et vérifier, ainsi que l'analyse « technique » du texte d'Hérodote, permettent de découvrir une méthode de construction additive, récurrente, basée sur un algorithme qu'il est possible de modéliser. Dès lors ce modèle servira de référent.

Le développement de ce modèle nous amène ensuite à reposer les principes constructifs fondamentaux au chapitre 6 puis à énoncer et présenter dans le détail le procédé d'accroissement pyramidal au chapitre 7. Interactif et prédictif, ce modèle permet de construire l'ensemble des dispositifs intérieurs de la Grande Pyramide (chapitre 8) et explicite le rôle utilitaire de la Grande Galerie (chapitre 9). Khéops était bien dans sa pyramide et non dessous « sur une île entourée d'eau ». Et nous énonçons l'hypothèse de la provenance « alentour » des matériaux.

La suite est totalement nouvelle par rapport à « Système Constructif des Pyramides ». Partant des hypothèses précédemment énoncées, nous développons le rôle et l'importance de l'environnement géologique et géomécanique dans la construction à travers le chapitre 10. L'hypothèse de la provenance « alentour » des matériaux de construction, réflexe « vernaculaire », étant posée, les reliquats et plate-formes « périboles » au pied des pyramides peuvent être compris comme des carrières et zones d'emprunt.

Nous consacrons ensuite le chapitre 11 à ce que nous appelons le « continuum technique ». Les pyramides d'Égypte, au même titre que de nombreux ouvrages du génie civil, militaire, rural ou religieux, font partie d'un continuum qu'il convient de mettre en évidence. Le mode générique des différents ouvrages tumulaires est à retrouver dans les ouvrages mineurs : les épierrements. La méthode de construction semble être une loi universelle. Elle est mise en évidence dans la lecture du chapitre 12 consacré au principe de l'« accrétion-Exhaussement ».

Puis vient le moment des vérifications archéologiques auxquelles nous consacrons le chapitre 13. Les observations archéologiques alentour, au pied, sur le sommet et les arêtes des trois Grandes Pyramides, la géologie et la tectonique des sites d'implantation, les reliquats de carrières et stigmates d'exploitation des strates du plateau, l'étude (partielle) des plateaux de Saqqarah ou de Dashour sont autant d'éléments de preuve de l'évolution des méthodes constructives des pyramides. La détermination du niveau technologique de l'Ancien Empire qui fait l'objet du chapitre 14 permet de compléter le chapitre des preuves en validant certaines hypothèses avancées.

Pour terminer, au chapitre 15, nous nous interrogeons sur la pensée et la forme qu'induit la construction à partir des travaux de Michel Serres sur « les origines de la géométrie » dans

lesquels il s'intéresse au système ou à la forme de pensée qui précède la vision dominante du monde hellénistique. Si Thalès mesure la hauteur des pyramides et éclaire la connaissance, il en occulte le savoir-faire constructif. Logistique ou algorithme de Babylone et de l'Égypte, la pratique des constructeurs de ziggourats ou de pyramides, seront « esclavagisés » par la dominance de la géométrie « descriptive ». Cette connaissance ouvrière réside dans l'acte de bâtir, elle en constitue le génie. Les écrits d'Hérodote, demeurés hermétiques jusqu'alors, décrivent bien une méthode constructive.

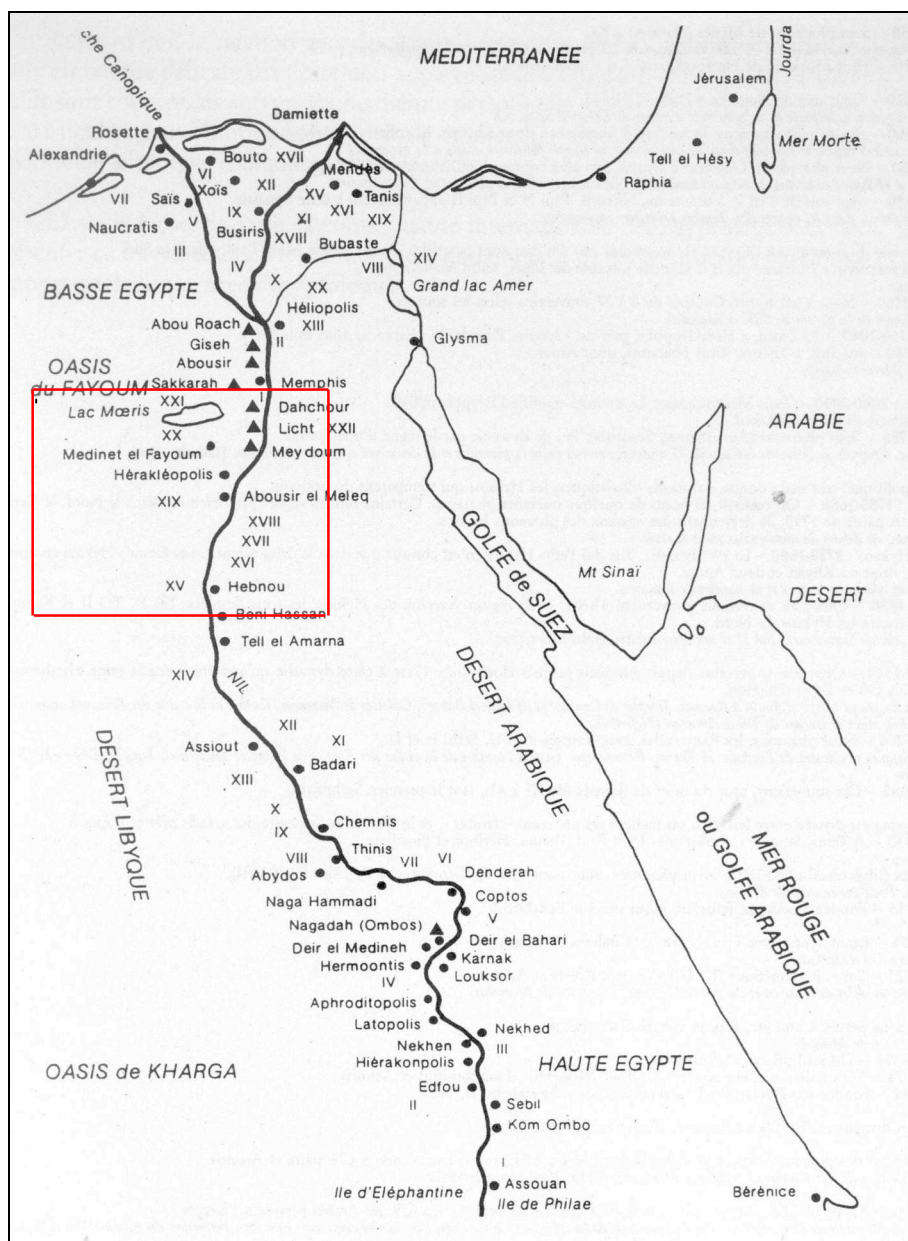


Figure 5. Répartition géographique des pyramides sur la chaîne Libyque, rive ouest du Nil

2. ETAT ACTUEL DE LA QUESTION

La bibliographie concernant les pyramides d'Egypte et plus particulièrement la Grande Pyramide de Khéops, la plus grande et la plus prestigieuse merveille du monde, est très riche. Elle fut l'objet depuis l'Antiquité, d'examen, de mesures, de descriptions, d'interprétations et de spéculations diverses qui peuvent être classées en trois grandes catégories de théories, d'après la classification fournie par J.-Ph. Lauer (1988).

L'analyse des différentes interprétations traitant de sa destination, de ses mensurations et de son mode de construction peut se résumer en trois grandes catégories de thèses (d'après Lauer, 1988) :

- Les théories mystiques
- Les théories pseudo-scientifiques
- Les théories constructivistes

Parmi ces dernières, deux familles de théories interprétatives antagonistes s'opposent radicalement, depuis toujours :

- la première, « machiniste » : Hérodote¹ (450 av. J.C.) aux dires des prêtres égyptiens, décrit une méthode de construction à l'aide de « *machines faites de courtes pièces de bois* » capables d'élever les blocs de degré en degré,
- la seconde, « rampiste » : Diodore de Sicile² (30 av. J.C.) rapportant la rumeur populaire parle de « *levées de terre* » pour acheminer les blocs jusqu'au sommet, qu'il faudra ensuite démolir.

Historiquement, les textes anciens n'apportent pas grand éclairage, si l'on excepte les écrits d'Hérodote qui rapporte dans son *Enquête* livres I à IV les dires des prêtres égyptiens relatifs aux procédés de construction de la pyramide de Khéops. Tous les autres auteurs traitant des pyramides se cantonnent dans des interprétations plus ou moins extravagantes, dans des mensurations peu sérieuses et des théories discutables sur le procédé de construction.

Il faut attendre l'expédition d'Egypte de Bonaparte (1798-1801), dont les résultats seront publiés³, pour pouvoir bénéficier de travaux et de relevés tangibles qui constitueront d'ailleurs le point de départ de l'égyptologie et des recherches archéologiques conduites scientifiquement.

Les différents relevés de plusieurs équipes participant à l'expédition Jomard et Cécile, Le Père et Coutelle, Grobert nous apportent des éléments intéressants, entre autres la hauteur de chaque assise de la pyramide de Khéops. Nous passerons tout d'abord en revue, dans un

1. Hérodote : historien grec (Ve siècle av JC), *l'Enquête*, Livre II, art 125 et 126, Editions Gallimard, 1964.

2. Diodore de Sicile : Historien grec (Ie 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 77-78.

3. La description de l'Egypte, Edition Panckoucke, 1821-1829.

rapide survol, les théories mystiques (bibliques, théosophiques) et pseudo-scientifiques pour les oublier ensuite et passer aux théories proprement constructivistes qui entrent seules dans notre travail.

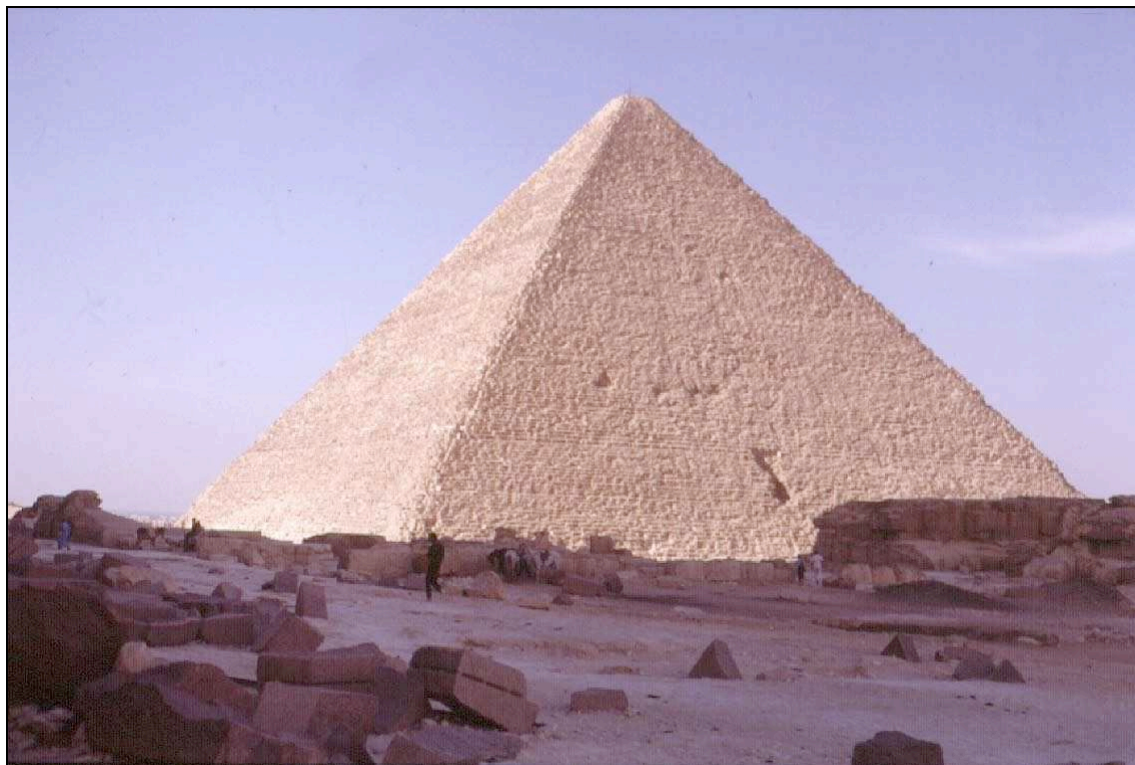


Figure 6. La Grande Pyramide de Khéops est « l'objet » de nombreuses théories plus ou moins extravagantes

2.1. Les théories mystiques

2.1.1. Théories bibliques

Elles partent de la croyance que les constructeurs ont été inspirés par Dieu, la pyramide s'expliquant par la Bible. Elles prétendent établir un rapport entre le diamètre de la terre et la coudée pyramidale, mais n'expliquent en aucun cas la manière de construire.

Dans cette catégorie, on peut classer :

- John Taylor, *The great pyramid : Why was it built and who built it ?* 1859
- Piazzi Smyth, *Our inheritance in the great pyramid*, 1864, et *Life and Work in the great pyramid*, 1865.
- Morton Edgar, *The great pyramid : its scientific features* (cité par Lauer, 1988).
- Davidson, cité par Lauer (1988).
- Adam Rutherford, *Pyramidology*, 1972.
- Georges Barbarin, *Le secret de la grande pyramide ou de la fin du monde adamique*, Ed. Adyar, 1936, qui tente la synthèse de toutes les théories bibliques et astronomiques.

2.1.2. Théories théosophiques

Elles sont fondées sur la relation qui existerait entre la pyramide et les « mystères égyptiens ». A leur source, le rôle joué dans leur construction par un prétendu clergé d'initiés appartenant à des sectes théosophiques. Mystères antiques plus ou moins connus, tels la *Légende osirienne*, la *Mythologie solaire*, les *Textes des pyramides*, ou le *Livre des morts* .

Dans cette catégorie, on peut classer :

- Marsham Adams, *The house of the Hidden Places* et *The book of the master*, London, 1845.
- Ralston Skinner, *The source of measures*, qui fait un rapprochement avec la cabale juive, clef ésotérique de la Bible, cité par J.P. Lauer (1988).
- H.P. Blavatsky, *Isis Unveiled*, 1931.
- Edouard Schuré, *Les grands initiés*, Paris, Perrin, 1961.
- Georges Barbarin, *Le secret de la Grande Pyramide ou de la fin du monde adamique*, Ed. Adyar, 1936.
- André Pochan, *L'énigme de la grande pyramide*, 1971.
- Michel Claude Touchard, *Les pyramides et leurs mystères*, 1966.

2.2. Les Théories pseudo-scientifiques

2.2.1. Théories astronomiques

Elles sont fondées sur certaines constatations d'ordre géodésique ou astronomique concernant la pyramide de Khéops. Elles présupposent des connaissances très poussées sur la rotondité de la Terre, le rayon polaire, l'astronomie. Pour certains, la pyramide serait la matérialisation de la science de l'Egypte ancienne, pour d'autres un observatoire, un cadran solaire ou un calendrier cosmique.

Dans cette catégorie, on peut classer :

- Jomard, *Description générale de Memphis et des pyramides*, accompagnée des remarques géographiques et historiques, ainsi que *Remarques et recherches sur les pyramides d'Egypte*, et *Exposition du système métrique des anciens Egyptiens*, contenant des recherches sur leurs connaissances géométriques, géographiques et astronomiques et sur les mesures des autres peuples de l'Antiquité, 8 tomes en 9 volumes, Paris, Imp. impériale, 1808-1822.
- Le Père et Coutelle, *Observations sur les pyramides de Guizeh et sur les monuments qui les environnent*, Antiquités, Mémoires, Tome 2, 1818.
- Abbé Moreux, *Les énigmes de la science*, 1941, et *La science mystérieuse des pharaons*, 1943.
- Richard A. Proctor, *The great pyramid*, 1888.
- Duncan Macchaughton, *A scheme of Egyptian chronology*, 1932.
- Cotsworth, *The national Almanac*, 1902.

2.2.2. Théories mathématiques

Elles s'appuient sur le fait que les auteurs anciens (grecs) s'accordent à faire de l'Égypte le berceau de la géométrie où sont venus s'instruire tous les grands mathématiciens de l'époque : Euclide, Pythagore, Thalès, etc. Elles relèvent la présence de la section d'or dans les proportions de la pyramide de Khéops.

Dans cette catégorie, on peut classer :

- Richard Lepsius, *Über den Bau der Pyramiden*, 1843.
- L. Borchardt, *Die Pyramiden, ihre Entstehung und Entwicklung*, 1922.
- Jarolimek, *Der mathematische Schlüssel zu der Pyramide des Chéops*, 1890.
- Flinder Pétrie, *The building of a pyramid*, 1930.
- Hermann Reikes, 1907, cité par Borchardt.
- K. Kleppisch, *Die Chéopspyramide, ein Denkmal mathematischer Erkenntnis*, 1921.
- F. Noetling, 1921, cité par Borchardt.
- I.E.S. Edwards, *Les pyramides d'Égypte*, Tallandier, 1981.

2.3. Théories constructivistes

D'une manière générale, ces diverses théories constructivistes tentent de proposer des solutions pour la construction (empilement des assises) par les hommes organisés en chantier, sans recourir à Dieu, aux mystères, à l'astronomie, ou aux mathématiques. Certaines d'entre elles, à la suite de Diodore de Sicile, nécessitent des ouvrages de mise en oeuvre parfois supérieure à la pyramide elle-même (rampes ou écluses) ; d'autres recherchent, à la suite d'Hérodote, un système par accrétion et des engins de levage des blocs sans donner cependant une logique constructive d'ensemble, pas plus qu'elles ne déterminent la provenance des matériaux (carrières).

2.3.1. Théories des rampes frontales

Elles reposent sur la connaissance du mode de transport des grandes charges par traîneaux glissant sur des rampes (sur couche de limon), tel que l'attestent les bas reliefs égyptiens, rampes plus ou moins nombreuses, longues et pentues, selon les auteurs, rampes que l'on exhausserait au fur et à mesure de l'élévation de la pyramide par assises. Dans cette catégorie, on peut classer :

- Diodore de Sicile, *Naissance des dieux et des hommes*, Ed. Belles Lettres, 1991.
- L. Borchardt, *Die Pyramiden, ihre Entstehung und Entwicklung*, 1922.
- L. Croon, *Lastentransport beim Bau der Pyramiden*, 1925.
- J.-Ph. Lauer, *Le mystère des pyramides*, 1988.
- I.E.S. Edwards, *Les pyramides d'Égypte*, Tallandier, 1981.
- A. Arnold, *Le secret de la pyramide*, trad. F.M. Watkins, Paris, J'ai lu, 1986.

2.3.2. Théories de l'accrétion et des engins de levage

Elles s'appuient sur les révélations historiques d'Hérodote et tout particulièrement sur le passage du livre IV qui décrit un mode de levage par des machines de bois, et proposent un mode dit en accrétion, à partir d'un noyau primaire, par succession de couches enveloppantes.

Richard Lepsius imagine par exemple une pyramide qui grossirait en fonction de la longueur de vie du pharaon qui l'a fait construire pour y être enseveli à sa mort.

Dans cette catégorie, on peut classer :

- Hérodote, *L'Enquête*, Livre II, *Euterpe* (machine de bois), Gallimard, 1964.
- A. Choisy, *L'art de bâtir chez les Egyptiens*, 1904 (ascenseur oscillant).
- R. Lepsius, *Über den Bau der Pyramiden*, 1843.
- L. Borchardt, *Die Pyramiden, ihre Entstehung und Entwicklung*, 1922.
- Louis Croon, *Lastentransport beim Bau der Pyramiden*, 1925 (appareil élévateur chadouf).
- Strub-Roessler, *Vom Kraftwesen der Pyramiden*, 1952 (chèvres de bois).
- Guerrier, *Le principe de la pyramide égyptienne*, 1981 (cordages de traction fixés au centre).
- Carpiceci, *Merveilleuse Egypte des pharaons*, 1980 (chadouf).

2.3.3. Théories des rampes latérales ou enveloppantes

Elles sont fondées sur le principe de rampes accolées, qui se démultiplient au cours de l'élévation de la pyramide, ou de rampes qui entourent la pyramide, celle-ci leur servant de support.

Dans cette catégorie, on peut classer :

- Louis Croon, *Lastentransport beim Bau der Pyramiden*, 1925 (multiples rampes le long des gradins)
- Uvo Hölscher, *Das Grabdenkmal des Königs Chephren*, 1912 (quatre rampes superposées sur une face).
- Wheeler, *Pyramids and their purpose*, 1935 (quatre rampes).
- Georges Goyon, *Le secret des bâtisseurs des grandes pyramides*, 1983 (rampe hélicoïdale enveloppante).
- Reiner Stadelmann, *Die Großen Pyramiden von Giza*, 1990.

2.3.4. Une théorie inclassable : la théorie des écluses

Due à Manuel Minguez (1985), cette théorie propose d'élever les blocs constitutifs de la pyramide, par un système d'écluses à eau superposées, depuis la vallée du Nil, jusqu'au dessus du plateau sans oser aller jusqu'au sommet de la pyramide.

2.3.5. Discussion

Aujourd'hui les théories « rampistes », rampe frontale de J.Ph. Lauer, rampe hélicoïdale de G. Goyon (1977), rampe latérale de R. Stadelmann (1990), rampe engagée de D. Arnold (1981), à l'instar des « levées de terre » de Diodore de Sicile, proposent de réaliser une ou plusieurs rampes annexes qui permettraient d'acheminer les matériaux nécessaires à l'érection de la pyramide, selon la technique du traîneau tiré à bras, inspirée des bas-reliefs représentant le déplacement à l'horizontale des statues colossales.

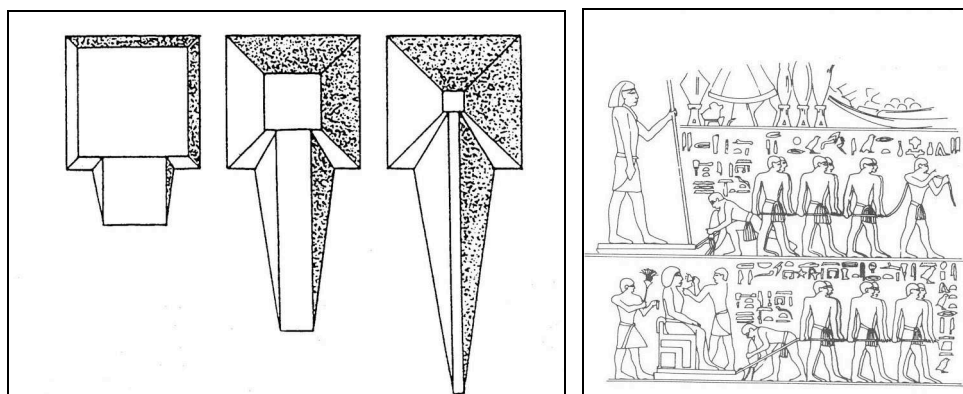


Figure 7. Rampe frontale (à gauche) et bas-relief du tombeau de TI (à droite)

Ces nombreuses solutions « rampistes » nous semblent par trop théoriques, voire même parfois purement graphiques, en tous cas détachées du contexte géophysique et topographique, elles manquent de réalisme et de pragmatisme. Elles sont certes simples à comprendre, apparemment efficaces et attestées. Cependant il convient d'être prudent dans la généralisation de la technique de translation des colosses qu'elles utilisent, qui impose une très faible pente, de l'ordre de 5% (maximum 10%). Ces propositions sont, de plus, en dehors de toutes considérations relatives au site d'implantation sur le plateau Libyque, à la provenance des matériaux de construction ainsi qu'au volume, aux qualités et aux zones d'emprunt des « terres » nécessaires à la réalisation de ces « levées », ouvrages annexes qu'il faudra approvisionner, lever, démolir et évacuer ensuite (pour recommencer à la pyramide suivante).

En effet, la pyramide de Khéops haute de 147 m est située sur le plateau de Gizeh, véritable promontoire bordé de falaises sur trois côtés, qui s'élève à 41 m au-dessus de la vallée du Nil. C'est donc au total 188 m qu'il faudra gravir, nécessitant une rampe frontale de 3760 m de longueur (pente de 5%), soit un volume de terre bien supérieur à la pyramide elle-même et un double travail de construction et de démolition, difficilement admissibles et par trop contraire à la logique « d'économie d'efforts » qui semble prévaloir dans les domaines du génie civil et la construction, si ce n'est dans toutes les activités humaines.

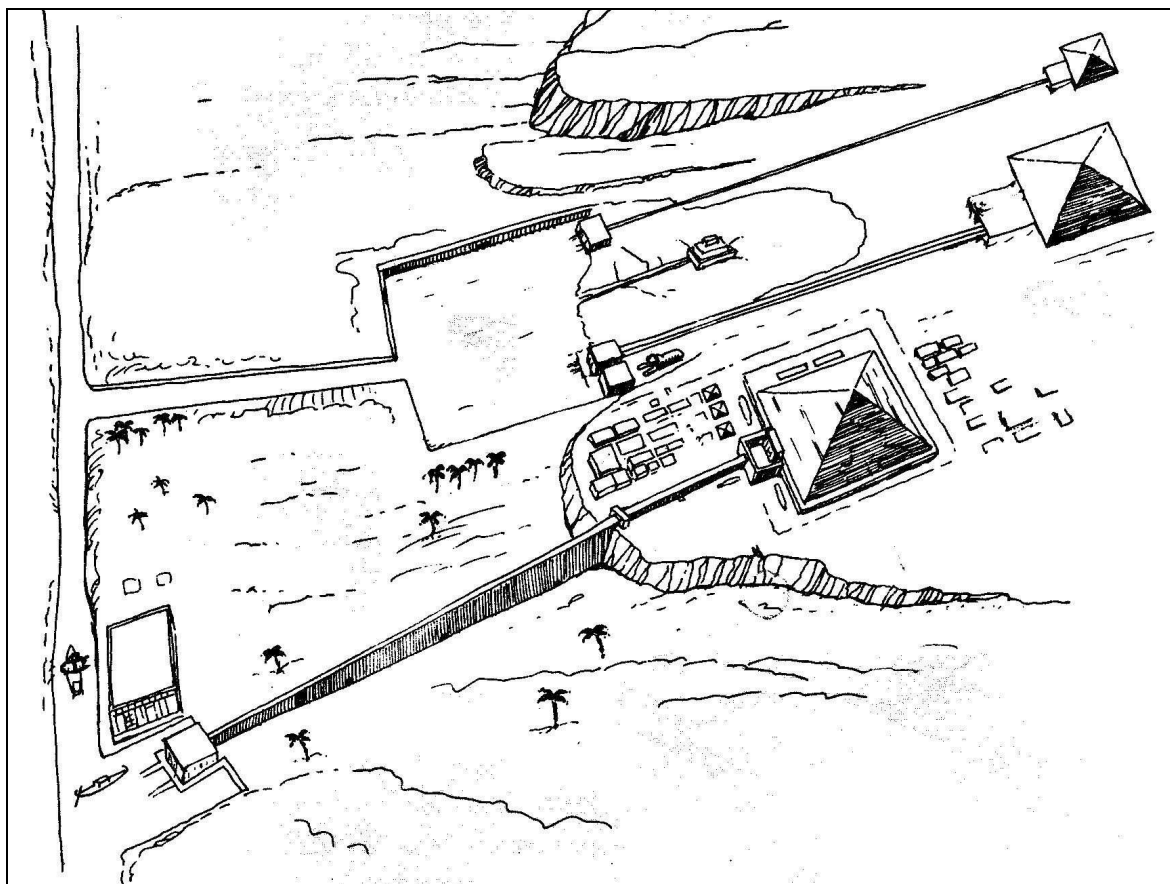


Figure 8. Reconstitution du plateau de Gizeh, un promontoire de 41 m sur la vallée du Nil, d'après Goyon (1983)

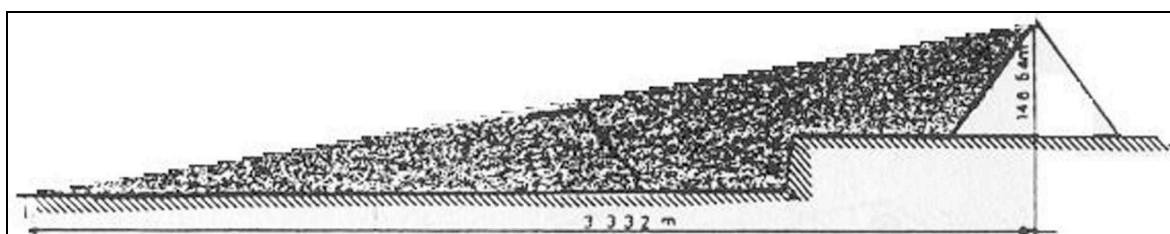


Figure 9. Rampe frontale dans le site de Gizeh, d'après Petrie (1930)

Il en sera de même pour la rampe latérale, cependant que la rampe engagée permettrait de réduire ce volume de façon significative, si l'on admet une pente bien plus forte en fin d'ouvrage.

Quant à la solution de la rampe hélicoïdale enveloppante, si la quantité de terre à fournir et à enlever, est du même ordre de grandeur, cette théorie comporte de plus deux inconvénients majeurs : d'une part, la difficulté pour des charges pondéreuses tractées manuellement (par des esclaves dit-on) de tourner à angle droit sur les arêtes, et d'autre part de dissimuler les arêtes de la pyramide, ce qui rend difficile la maîtrise de la géométrie de l'édifice.

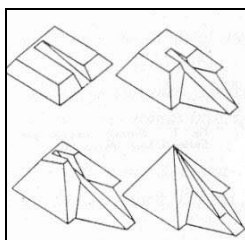


Figure 10. Rampe engagée, d'après D. Arnold (1986)

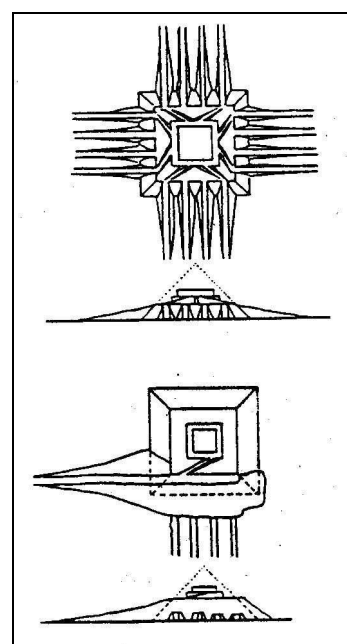
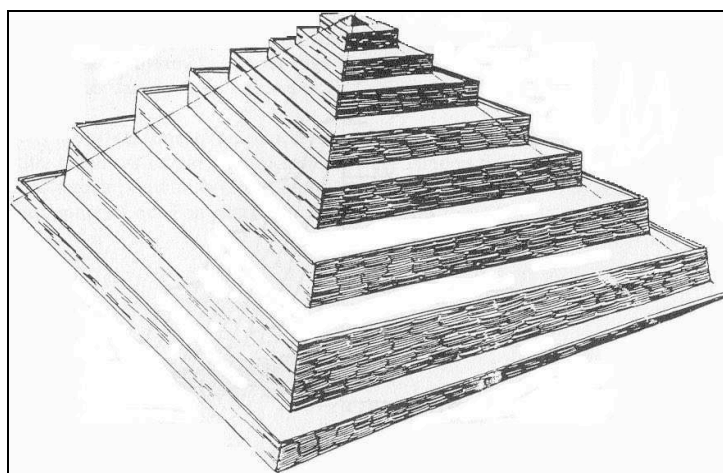


Figure 11. Rampe hélicoïdale (à gauche) d'après Goyon (1983) et rampe latérale (à droite) d'après Stadelmann (1990)

Une dernière famille de théories⁴ « mixtes », plus récente, cherche à minimiser les inconvénients des précédentes, « machinistes » et « rampistes », en proposant de réduire le volume de la rampe annexe, en mixant les deux familles de théories : une « *levée de terre* » jusqu'à 65 m, niveau du sommet de la chambre haute (du Roi) ; ensuite l'utilisation des « *machines* » d'Hérodote, pour la partie haute restante.

En fait, ces différentes théories « rampistes » et « mixtes » s'opposent les unes les autres, et aucune n'est susceptible d'offrir une quelconque preuve concrète de son application. Les soi-disant reliefs de rampes que certains pensent reconnaître ici ou là sont loin d'être probants et convaincants ; de plus cette justification paraît pour le moins illogique dans la mesure où ces rampes sont censées avoir été démontées en fin de chantier.

Néanmoins elles participent toutes de la même source d'information, voire de la même « culture du mystère », à savoir le texte de Diodore de Sicile, que nous étudierons au chapitre suivant. En ce qui nous concerne personnellement, il nous est impossible d'accréditer une telle

4. Cette théorie est soutenue actuellement par J.P.Adam, archéologue français, actuel directeur de l'Institut de recherche sur l'architecture antique du CNRS et par Jean Kérisel, professeur honoraire à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (France).

« rumeur populaire », et le principe-même d'un quelconque ouvrage annexe bien supérieur en travail à la pyramide elle-même, au mépris ou en toute ignorance de l'Art de bâtir et/ou des moyens conceptuels, mathématiques, techniques et opératoires que nous apportent les autres disciplines de l'égyptologie, concernant l'Ancien Empire⁵.

En aucun cas, pour nous, les pierres constitutives de la pyramide ne sauraient venir « d'Arabie, de très loin » et la construction nécessiter des « levées de terre » quelconques.

Une simple analyse pétrographique comparative des pierres de la pyramide et du plateau suffirait pour lever enfin l'hypothèse de la provenance des matériaux. Cette analyse a-t-elle été réalisée et publiée ? Il semblerait que non !

Et quand Hérodote écrit : « les uns dirent, depuis les carrières de la chaîne arabique, traîner jusqu'au Nil les blocs de pierre qu'on en tirait », loin d'accréditer la thèse de Diodore, nous pensons qu'il parle alors des pierres de revêtement des couloirs, de la Grande Galerie et, semble-t-il, de la dernière couche de revêtement (qui sera ensuite ravalée), et non pas du massif de gros oeuvre de la pyramide, qui représente 2600000 mètres cubes de pierre.

5. Mathématiques (arithmétique additionnelle et géométrie), batellerie, tissage, sculpture, etc.

3. ANALYSE CRITIQUE DES THEORIES CONSTRUCTIVISTES

Nous nous attacherons maintenant à l'analyse critique des théories constructivistes dans leur détail en ignorant la théorie fantaisiste de Minguez dont nous venons de parler. Quatre catégories de thèses se dégagent dès l'abord :

- Le système à rampe frontale
- Le système à rampes latérales ou enveloppantes
- Le système par accrétion avec engin de levage
- Le système pour lui-même

3.1. Le système à rampe frontale

Le premier à évoquer cette façon de faire est Diodore de Sicile, *Naissance des dieux et des hommes*, trad. de Michel Casevitz. Ed. Belles Lettres, Paris, 1991.

« Son huitième successeur fut Chemmis né à Memphis qui régna cinquante ans. Ce fut lui qui fit élever la plus grande des trois pyramides, qu'on met au rang des sept merveilles du monde. Elles sont du côté de la Libye à six cent vingt stades de Memphis et à quarante-cinq du Nil. Elles étonnent tous ceux qui les voient et par leur hauteur et par leur beauté. La base de la plus grande est un carré dont chaque côté est de sept cents peiz. La pyramide en a plus de six cents de hauteur. Ses quatre faces diminuent en s'élevant, de telle sorte qu'elles ont encore six coudées de largeur au sommet qui les termine. Elle est construite tout entière de pierres très difficiles à travailler, mais aussi d'une durée éternelle ; car bien qu'il y ait aujourd'hui mille ans, à ce qu'on dit, que la Pyramide subsiste, et que d'autres même assurent qu'il y en a trois mille quatre cents, elle s'est conservée jusqu'à nos jours sans être endommagée en aucun endroit. On avait fait venir les pierres du fond de l'Arabie, et comme on n'avait pas encore l'art d'échafauder, on dit qu'on s'était servi de terrasses pour les élever. Mais ce qu'il y a de plus incompréhensible dans cet ouvrage, c'est qu'étant au milieu des sables, on n'aperçoit aucune trace ni du transport ni de la taille des pierres ni des terrasses dont nous avons parlé, de telle sorte qu'il semble que sans emprunter la main des hommes qui est toujours fort lente, les dieux ont placé tout d'un coup le monument au milieu des terres. Quelques Egyptiens apportent une explication de cet effet aussi fabuleux et plus grossière que celle-là. Car ils disent que ces terrasses, ayant été faites d'une terre pleine de sel et de nitre, le fleuve en se débordant les a fait fondre et disparaître sans le secours des ouvriers. Cela ne saurait être vrai, et il est bien plus sensé de dire que les mêmes mains qui avaient été employées à apporter ces terres furent employées à les remporter, et à remettre le sol dans le même état qu'il était auparavant ; d'autant plus qu'on dit que trois cent soixante mille manœuvres ou esclaves furent occupés près de vingt ans à ce travail. »

Une autre traduction du même texte est encore plus explicite :

« On dit que la pierre fut importée d'Arabie, de très loin, et que la mise en place utilisa des levées de terre, car on n'avait pas encore inventé les machines en ce temps-là ; et le plus admirable, c'est que, tandis que des ouvrages de cette importance ont été construits et que le pays qui les contient est tout sablonneux, il ne reste nulle trace de levée de terre ou de taille de pierre, de sorte que la construction semble non avoir été produite, pas à pas, par le travail humain, mais déposée d'un seul bloc comme par un dieu dans le sable qui l'entoure. Certains se mettent à raconter des prodiges à ce propos, prétendant que les levées étaient composées de

sels et de nitre, que le fleuve les a atteintes et dissoutes et que leur disparition est son œuvre sans qu'elle résulte de l'activité humaine. La vérité n'est certes pas là, c'est par la multitude des bras qui ont mis bas les levées que tout l'ouvrage a été remis dans son état primitif, le fait est que trois cent soixante mille hommes, dit-on, furent occupés pour servir des travaux et que l'ensemble de la construction fut à peine terminé au bout de vingt ans. »

D'après le Dictionnaire Encyclopédique Larousse : « *L'historien greco-romain est l'auteur d'une « Bibliothèque historique », monumentale histoire universelle dont il nous reste d'importants fragments. Son œuvre est celle d'un compilateur sans originalité, mais elle est utile à consulter* ». Il est notoirement reconnu qu'il est loin d'offrir les mêmes garanties d'authenticité que son antécédent grec Hérodote auquel il se réfère souvent. Il intègre sans toujours bien vérifier les écrits de ses prédécesseurs, de voyageurs ou de récits de voyages de deuxième main, de « on-dit » vulgaires et de mythes divers, sans bien spécifier ses sources, constituant ainsi une sorte d'amalgame permanent. De plus, il tente souvent, ici ou là, des interprétations personnelles des mythes, recherches rationalistes et historiques, qui troublent encore sa compréhension des faits relatés et bien sûr la nôtre.

A ce titre, précisément, le texte relatif à la pyramide de Khéops est révélateur et exemplaire du fait : il nous montre là une faculté d'amalgame, d'explication techniques et de croyances populaires, le tout dans une forme rhétorique hyperbolique qui peut s'apparenter à de la supercherie.

En effet, après avoir donné des indications d'ordre technique - provenance des matériaux et utilisation des levées de terre - justifiées par une formule rapide et elliptique « *car on n'avait pas inventé les machines en ce temps là* » (il s'agit bien là d'un jugement de valeur de la part d'un greco-romain qui ne peut concevoir l'antériorité de la machinerie égyptienne), il passe aussitôt au superlatif énigmatique et mystique « *le plus admirable* », pour conclure à l'intervention des dieux.

Mais en plus, et c'est là qu'il frôle la malhonnêteté intellectuelle, il cite des sources hypothétiques « *certaines se mettent à raconter* » en disant qu'il ne saurait y croire, qu'il ne faut pas y croire, ce qui rassure le lecteur « *la vérité n'est certes pas là* », mais incite à penser alors que le début du texte - l'explication technique - est juste et véridique.

Heureusement dans ce texte, mais il s'agit bien là d'une méthode déplorable, il a pris d'emblée la précaution du « *on-dit* » - la rumeur populaire dit que - , au point qu'il est possible, voire prudent, de penser qu'il ne croit en rien à ce qu'il nous raconte.

Comment, ne serait-ce que d'un point de vue rhétorique, attacher un quelconque crédit à ce texte, surtout de la part d'égyptologues, architectes de formation, si ce n'est qu'a priori, ils considèrent, à l'instar de Diodore de Sicile, le manque de technicité en machinerie des égyptiens de l'Ancien Empire. Ceci est contredit par le niveau technologique attesté ayant permis de réaliser la Barque Solaire enfouie au pied de la pyramide de Khéops.

Le principe même d'un « plan incliné en levée de terre » pour la translation sur un traîneau des lourdes charges ne peut être si facilement admis, tant il est vrai qu'on n'en a jamais observé ; en effet les bas reliefs qui servent de justification aux auteurs des théories « rampistes » ne nous montrent que des translation de statues colossales, à l'horizontale, à l'exemple de ceux du Tombeau de Ti (figure 7).

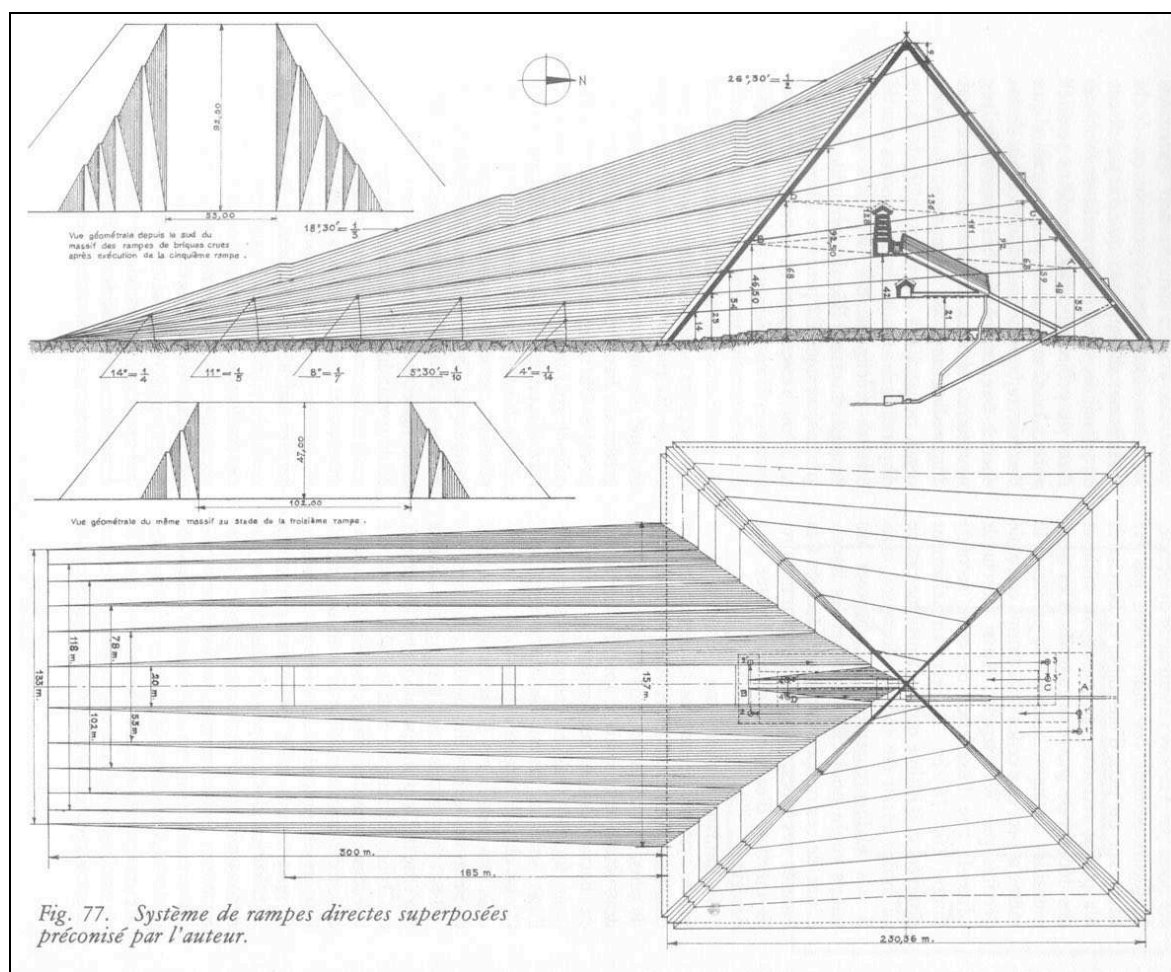


Figure 12. D'après J. Ph. Lauer, archéologue-architecte, sa dernière version de rampe frontale. Placée au sud de la pyramide, cela rend le dessin impossible et la pente est excessive (jusqu'à 26°20')

Ce mode de transport des charges pondéreuses, que d'aucuns appliquent au transport des monolithes de 30 tonnes ou plus de la Chambre du Roi de Khéops et généralisent à tous les blocs de la pyramide, atteint très vite sa limite technique puisqu'on estime la pente inférieure à 10%, voire 5%. Dans son ouvrage *L'archéologie devant l'imposture* (p.155 - 158), J.P. Adam (1975) cite longuement les expériences de traction réalisées par J. Rondelet :

« Les expériences réalisées sous le 1^{er} Empire par le grand théoricien de l'architecture, J. Rondelet [...], ont permis d'établir les charges que peut déployer un seul ouvrier, suivant les différentes conditions de traction. Ces expériences seront reprises scientifiquement par Morin qui établira les valeurs du coefficient de frottement, Rondelet a pu ainsi vérifier, et rejoindre, les estimations empiriques permettant aux architectes et aux marins d'organiser un chantier et de prévoir les déplacements de charges pesantes. Enfin, nous avons pu personnellement renouveler les expériences de Rondelet sur un chantier archéologique d'Asie Mineure et mettre en pratique de même les différentes méthodes de transport de l'Antiquité ... »

Cependant, l'auteur de ces pages oublie que les rampes sont en pente et de nous expliquer le supplément de charge en fonction de l'angle de pente !

Dans ce mode de faire, de toute évidence, la construction de la rampe nécessaire à l'ascension de la pyramide constitue un travail presque aussi colossal que la pyramide elle-même. De

plus, cette rampe devra être démolie après la fin du chantier (le volume de la rampe de Lauer représente les 3/4 du volume de la pyramide). Au moins Diodore de Sicile avait-il pensé au travail de la démolition ! Il dit cependant : « *Comme on n'avait pas encore l'art d'échafauder, on dit qu'on s'était servi de terrasses pour les élever* ».

D'après lui, ces terrasses auraient constitué une rampe. Elles auraient été construites de sel et de nitre, et auraient disparu, soit en dissolution par les eaux du Nil, soit démolies par les mains qui les avaient construites. Ce système de rampe frontale est aujourd'hui défendu par Jean-Philippe Lauer et il est accrédité par l'ensemble des égyptologues. S'il est plausible du point de vue constructif, il ne saurait être satisfaisant au plan de l'économie d'effort. En effet, la construction et la démolition d'une rampe, qui double la quantité d'ouvrage, n'apporte de plus aucun éclaircissement sur la construction des éléments internes (chambres, couloirs, Grande Galerie, conduits, etc.), qui demeure aléatoire.

Ajoutons que cette théorie nécessite de connaître les dimensions finales de l'ouvrage dès l'ouverture du chantier. Elle est enfin en complète contradiction avec les récits d'Hérodote, qui, hormis pour sa description de la pyramide de Khéops, est considéré par l'histoire comme un témoin digne de confiance, contrairement à Diodore de Sicile.

Nous tenterons de suivre le mode de faire des principaux tenants du système.

3.1.1. Lecture d'I.E.S. Edwards

Dans son ouvrage *Les pyramides d'Egypte* (1981), I.E.S. Edwards développe l'idée d'une évolution des techniques de construction des pyramides en pierre depuis les mastabas, la pyramide à degrés de Djoser à Sakkarah, Meïdoum, Dahchour Sud (rhomboïdale) et Nord (Pyramide Rouge) toutes trois attribués à Snéfrou et enfin le groupe de Gizeh attribué respectivement à Khéops, Khéphren et Mykérinos.

Edwards observe, si nous le lisons bien, trois types d'édifices : mastaba, pyramide à degrés et pyramide lisse véritable. La pyramide de Djoser représenterait alors le passage du mastaba à la pyramide à degrés, et celle de Meïdoum le passage de la pyramide à degrés à la pyramide lisse.

Citons Edwards (1981, p 73) :

« Un élément qui pourra faciliter la solution de ce problème, c'est que les procédés employés pour la construction des pyramides ont subi une modification importante au début de la IV^e dynastie et qu'elle est très nettement illustrée dans les trois édifices qui nous occupent. Il a déjà été signalé que la méthode des tranches indépendantes à lits déversés, employée dans toutes les pyramides à degrés connues, était aussi celle de la pyramide rhomboïdale. Mais dans celle du nord, à Dachour, les assises sont horizontales et comme ce procédé sera régulièrement utilisé par la suite, l'ordre de succession des deux monuments semble évident. Chose assez surprenante, celui de Meïdoum présente des affinités avec les deux types : les lits de la pyramide intérieure à degrés sont déversés, alors que ceux de la construction extérieure en forme de pyramide lisse sont horizontaux. Si la technique était le seul critère, il serait donc difficile de déterminer les positions relatives de la pyramide intérieure et de la pyramide rhomboïdale dans la chronologie, mais le profil en gradins de la première ne permet guère de douter qu'elle soit la plus ancienne. Quant à la pyramide extérieure, au point de vue des

procédés de construction, elle ne peut qu'être postérieure à la pyramide rhomboïdale : ses rapports avec la pyramide nord sont indiqués par quelques pierres de parement datées des 21^e et 23^e années du règne d'un souverain qui n'est pas nommé, alors que les blocs similaires, datés des 21^e et 23^e années du règne de Snefrou, ont été trouvés dans la pyramide nord. Si le roi anonyme était bien Snefrou, il s'ensuit qu'à un certain stade la construction des deux édifices a dû être menée concurremment. On ne peut déterminer avec précision la position primitive qu'occupaient dans la pyramide de Meïdoum les blocs datés, aujourd'hui tombés à terre, mais comme la partie basse du parement est encore intacte, ils devaient appartenir à la partie haute. En revanche, dans la pyramide nord de Dachour, l'un d'eux se trouve dans l'assise la plus basse; on peut donc en conclure qu'au moment où ces pierres ont été posées, les travaux étaient plus avancés à Meïdoum qu'à Dachour ».

Notons la puissance de construction de Snefrou à qui on attribue un règne de vingt-quatre ans et qui aurait construit à lui seul trois grandes pyramides de pierre: Meïdoum, Dahchour Sud et Dahchour Nord. Si la pyramide est un tombeau, on est alors en droit de se poser une question : dans laquelle des trois fut-il enseveli ? Et, compte tenu du temps nécessaire à leur édification, n'ont-elles pas été construites simultanément, chacune avec une technique différente ?

Si la pyramide de Meïdoum est bien, selon les fouilles et vestiges visibles, réalisée par la technique des murs accessifs à assises déversées, comme Djoser, on connaît mal par contre la technique employée pour la pyramide rhomboïdale qui a conservé tout son revêtement, construit suivant la technique des lits déversés vers l'intérieur, lui donnant ainsi une plus grande cohésion. Il semblerait néanmoins que le gros œuvre soit constitué de blocs à peine équarris et sans mortier de liaison. Par contre, on peut bien observer que Dahchour Nord (Pyramide Rouge) est quant à elle édifiée selon la technique des assises horizontales (comme plus tard les trois pyramides de Gizeh), et dont le revêtement aurait alors disparu. Notons que la pyramide rhomboïdale est le seul exemple connu d'une pyramide comportant deux descenderies : l'une au nord et l'autre à l'ouest.

De toute évidence, le règne de Snefrou fut une grande période d'évolution des techniques. Doit-on aller jusqu'à imaginer plusieurs écoles ou techniques concurrentes ?

Mais notre attention est attirée par un problème de temps d'exécution que relève Edwards et qu'il ne peut interpréter (1981, p 190) :

« Bien que la période de vingt ans indiquée par Hérodote ne semble pas excessive pour une entreprise d'une telle envergure, il faut observer que ce chiffre ne coïncide pas avec les indications données par les dates inscrites à l'encre rouge sur deux blocs de parement dans la pyramide nord de Dachour. L'une d'elles correspond, selon les déchiffreurs, à la 21^e année du règne de Snefrou et, comme elle se trouve à l'angle nord-est, elle devrait indiquer l'année où les travaux furent commencés; l'autre, vue par Richard Lepsius à mi-hauteur sur la face, indique l'année suivante. Compte tenu du temps exigé par la construction de la pyramide rhomboïdale et d'au moins une partie de celle de Meïdoum, il est probable que la pyramide nord ne fut bâtie que vers la fin du règne de Snefrou, qui dura vingt-quatre ans; mais on a peine à croire qu'elle ait pu être élevée en trois ans s'il en a fallu vingt pour celle de Khéops, dont le volume n'est guère supérieur que d'un tiers. De nouvelles fouilles autour de sa base révéleront peut-être d'autres blocs datés in situ; s'ils confirment la date déchiffrée sur le seul qui ait été mis au jour, une révision radicale des estimations jusqu'alors adoptées en ce qui concerne la durée des travaux pour les grandes pyramides sera évidemment indispensable ».

Bien sûr, si l'on considère que la pyramide Dahchour Nord (Pyramide Rouge) est construite par assises successives, il est impensable qu'une année suffise à construire les 7/8 de la pyramide (même base et demi-hauteur). Nous aurons à nous expliquer par la suite de ce problème qui n'en est pas un pour nous, bien au contraire !

Enfin, relevons encore dans cet ouvrage deux assertions pour nous révélatrices de la confusion généralement faite par Edwards. Tout d'abord il affirme : « *Pour les transports sur terre, la méthode employée était sans doute la même, qu'il se fût agi d'un poids de 200 tonnes ou de 2,5 tonnes, le nombre des hommes variant selon l'importance de la pièce à déplacer. Mais quelle était cette méthode ?* » (Op. cit., p. 178), ensuite, il remarque : « *Aucune allusion n'a encore été faite au procédé employé pour incorporer chambres et galeries à l'édifice* ».

3.1.2. Lecture de Rainer Stadelmann

Rainer Stadelmann, dans son ouvrage intitulé *Die großen Pyramiden von Giza* (1990), reprend, comme tous les autres chercheurs, l'évolution des pyramides, du mastaba à la pyramide lisse, en passant par la pyramide à degrés, puis s'intéresse plus particulièrement à la Grande Pyramide de Khéops, à ses prétendus rapports avec le nombre d'or pour terminer par l'exposé des différentes théories.

Cependant, nous retiendrons sa critique de l'interprétation donnée par Borchardt concernant les trois phases de construction de Khéops, de même que le système des accrétions développé par R. Lepsius.

Nous citons (Stadelmann, 1990, p 109) :

« Que le noyau rocheux monte à l'intérieur en gradins peut être mesuré à deux endroits, là où le couloir descendant atteint le noyau à environ trois mètres de hauteur au-dessus du niveau du rocher à l'extérieur et du prétendu passage des voleurs, liaison verticale entre les systèmes de couloirs inférieur et supérieur, ici à sept mètres quatre-vingt-dix. Comme cela est encore loin du centre de la pyramide, on peut supposer qu'au centre le noyau rocheux, tel un escalier ou un gradin, se situe encore quelques mètres plus haut. A l'image de l'antichambre inférieure de Dahchour, il serait tout à fait imaginable que ladite chambre de la Reine de la pyramide de Khéops ait été plus ou moins directement construite sur le noyau rocheux, c'est-à-dire que la terrasse rocheuse ait été conservée au centre, soit à vingt mètres de hauteur environ, ce qui gagnerait passablement de masse constructive, mais permettrait également d'exécuter la chambre de la Reine et le couloir horizontal avec beaucoup plus de facilité.

Le noyau rocheux restant, et qui est facilement visible à l'extérieur de nos jours, constitue un indice que l'on ne prend pas assez en considération et qui exclut catégoriquement la thèse des trois phases de construction développée par Borchardt, car le noyau rocheux prouve clairement que la longueur du côté de la pyramide était fixée dès le début à 440 coudées et que l'idée d'une croissance progressive de la pyramide par manteaux superposés et avec cela l'interprétation de chaque système de chambre doit être définitivement considérée comme *fausse* ».

A notre avis, Stadelmann va un peu vite à cette conclusion catégorique ; et si nous contestons aussi l'interprétation de Borchardt, il semble invraisemblable que le constructeur de la pyramide de Khéops ait changé par deux fois son projet initial, l'argument du rocher

aujourd'hui apparent au pourtour de la pyramide, sur une hauteur d'ailleurs variable d'une face à l'autre, ne nous semble pas suffisant pour considérer le système par accrétion comme impossible.

Néanmoins, sa proposition d'un socle rocheux en gradins jusqu'au sol de la chambre de la Reine n'est pas impensable. Cette proposition est à rapprocher de l'observation faite par J. Bruchet du Service de l'Architecture Antique du CNRS, dans son ouvrage *Nouvelles recherches sur la Grande Pyramide* (1965) : « *Après ces remarques, il convient encore d'ajouter que le sol de cette première chambre haute (chambre de la Reine) présente un aspect général assez raboteux* ». D'autre part, selon J.P. Lauer, « *ses parois ne semblent pas avoir été ravalées avec tout le soin désirable. Il faut considérer cette dernière assertion comme fausse : les parois sont très bien dressées, les joints tant verticaux qu'horizontaux étant quasiment indécelables. Par contre, pour ce qui concerne son sol, la figure* en montre les anomalies. Si la plus grande partie est relativement inégale, dans l'angle nord-ouest par exemple, quelques parties planes semblent en attente* ».

Enfin, J. Bruchet ajoute (1965, p 87) : « *Néanmoins, cet état de chose ajouté à la perfection des assises et à l'ajustement des joints, donne l'impression d'un caveau taillé dans le rocher* ».

Toutes choses qui semblent aller dans le sens de l'existence d'un imposant socle rocheux ...

3.1.3. Lecture de Jean-Pierre Adam

Dans son ouvrage *L'archéologie devant l'imposture* (1975), J.P. Adam, architecte au Service d'architecture antique du CNRS, expose quant à lui, après avoir rappelé les écrits d'Hérodote, et décrit les théories de rampes frontales, latérales (D. Dynham), en zigzag sur une face, les moyens de levage capables de soulever et de mettre en place des blocs de deux à trois tonnes : bigue (A.Choisy), berceau oscillant (W.F. Petrie), levier à contrepoids (Croon).

Nous citons (Adam, 1975, p 176) :

« On peut enfin proposer une troisième solution alliant le principe d'élévation par suspension (mais sans faire appel au palan) à une grande simplicité de manœuvre. Le principe est celui du levier à contrepoids encore en usage dans les puits à balancier (chadouf). Le bloc, placé sur l'un des plateaux, est élevé par la charge du contrepoids (une caisse remplie de pierres de petites dimensions stockées sur chaque gradin par une navette d'ouvriers). En donnant au bras du levier une longueur suffisante, on réduit d'autant le volume de charge mobile destiné à provoquer l'élévation de la charge. Une fois la caisse chargée d'un poids égal ou légèrement supérieur à celui du bloc, il suffit d'abaisser le levier à l'aide d'une simple manœuvre de traction. Enfin, le haut de l'appareil pivotant également dans le plan horizontal, le bloc est déposé aisément sur le gradin supérieur. Pour simplifier les manipulations, la pierre demeure sur son plateau d'origine jusqu'à la fin de la course ; au besoin même, le plateau peut être considéré comme superflu et de simples élingues passées autour du bloc l'accompagnent durant toute son ascension ».

S'il est évident qu'un levier en bois est suffisant pour manœuvrer un bloc de deux à trois tonnes, nous proposerions plutôt un contrepoids composé non par le poids d'hommes suspendus au grand bras du levier, mais par la traction conjuguée d'un certain nombre d'ouvriers tirant sur une corde à nœuds attachée au grand bras de levier, ouvriers qui peuvent

alors se tenir sur les gradins successifs, au fur et à mesure de l'ascension du bloc, d'assise en assise ... Et suivant Hérodote : ou l'on déplace le levier à chaque assise, ou l'on multiplie le nombre de leviers.

Mais là où J.P. Adam, malgré son bon sens constructif et son pragmatisme, perd le fil de son raisonnement, c'est lorsqu'il écrit (p 177) : « *Les gradins, Hérodote nous le rappelle, reçurent en dernier lieu un revêtement de calcaire blanc dont la mise en place commença par le sommet, puisqu'en effet c'est la surface horizontale de chaque degré qui permettait les manœuvres. La pyramide fut ainsi entièrement habillée et présentait sur chacun de ses quatre côtés une surface lisse, dont la vision, en contre-plongée devait donner du monument un aspect perspectif ascendant vertigineux, propre à évoquer la fuite vers l'infini céleste* ». En effet, la pose du revêtement en calcaire de Tourah ne saurait commencer par le sommet puisque ces blocs sont posés les uns sur les autres, tout comme ceux du massif de gros oeuvre. C'est le ravalement du revêtement qui ne peut que commencer par le haut, puisque les ouvriers se tiennent sur l'assise inférieure, pour ce faire.

J.-P. Adam, dans un désir de concilier les théories existantes, propose alors sa méthode (p 177) : « *Afin de concilier différentes solutions et satisfaire à la description donnée par Hérodote, on peut admettre que le massif de pierre constituant la majeure partie du monument fut élevé à l'aide de rampes sur lesquelles les blocs étaient tirés, puis que le revêtement final fut hissé puis mis en place à l'aide de machines de levage telles que celles qui viennent d'être décrites* ».

Si des blocs de deux à trois tonnes peuvent être mis en oeuvre à l'aide de simples leviers de bois, c'est tout le massif de gros oeuvre, en calcaire de Gizeh, de la pyramide que l'on peut ainsi édifier, ainsi que les blocs du revêtement final, en calcaire de Tourah, que l'on ravale en dernière opération.

Enfin, J.-P. Adam reprend lui aussi le fantasme du nombre d'or qui proportionnerait la pyramide de Khéops, en nous soumettant d'ailleurs un tracé défectueux. Nous n'insisterons pas, la présence du nombre d'or nous semblant plus ésotérique que vérifiée. Comme de plus la pyramide de Khéphren (sa voisine) n'a pas les mêmes proportions, nous en concluons que ce nombre n'est pas essentiel à la mise au point du procédé de construction des pyramides.

3.1.4. Lecture de Jean Kerisel

Dans son ouvrage *La pyramide à travers les âges* (1991), Jean Kerisel retrace à sa façon l'évolution historique de l'ensemble des grandes formes pyramidales : cairn, tumulus, ziggourats, tour de Babel, pyramides d'Egypte, stupas bouddhiques, etc. (omettant les pyramides circulaires romaines en Algérie et le mausolée dit tombeau de la chrétienne, à Tipaza), puis nous offre son interprétation du mode de construction des pyramides d'Egypte.

Après avoir opposé les deux grandes écoles de pensée des « rampistes » et des « machinistes », il conclut (p 81) : « *Rampistes et machinistes forment donc deux familles s'excluant l'une l'autre. Il apparaît plus probable à l'auteur que le constructeur de Khéops a utilisé successivement les deux procédés: la rampe d'abord, la machine ensuite* », position qui nous semble bien étonnante de la part d'un technicien qui fournit une très belle analyse des tassements subis par la chambre du Roi, lors de sa construction.

En effet, si les bâtisseurs de Khéops ont employé une rampe pour mettre en oeuvre le massif de gros oeuvre, qu'ont-ils besoin ensuite de machines pour le revêtement ? A vouloir sauvegarder et associer les deux modes de construction, il n'en choisit aucun et ne démontre rien. Une fois encore, la confusion entre blocs de 2,5 tonnes et monolithes d'au moins 30 tonnes (de la chambre du Roi) est patente, alors qu'il nous semble évident qu'ils relèvent de techniques de manipulation, de levage et de mise en oeuvre obligatoirement différentes. L'adage *qui peut le plus peut le moins* ne se vérifie pas en cette occurrence.

3.2. Le système à rampes latérales ou enveloppantes

Les rampes latérales peuvent être assimilées à la rampe frontale et les mêmes critiques peuvent y être adressées. Quant aux rampes enveloppantes dont la dernière version est proposée par G. Goyon (1983), il semble difficile d'accréditer une telle méthode qui fait de la rampe un ouvrage encore colossal, et sur lequel, surtout, la difficulté sera de prendre les virages !

Dans son dernier ouvrage, *Le secret des bâtisseurs des grandes pyramides*, Georges Goyon, maître de recherche au CNRS, se livre à une critique acerbe des théories de construction par accréation.

D'après lui (p 53-54), la théorie des accréations de R. Lepsius doit être :

« définitivement éliminée : le savant allemand Richard Lepsius, vers 1840, en étudiant la structure interne des pyramides de Saqqarah, de Meïdoum et d'Abousir, décela, en effet, le premier sur les flancs de ces édifices des juxtapositions de maçonnerie qui lui parurent anormales. Il avait, par exemple, remarqué, à Meïdoum, des couches de revêtement à lit déversé. Il émit la théorie selon laquelle la plupart des pyramides, sinon toutes, avaient été bâties par des additions successives de revêtements se recouvrant les uns les autres, comme la chair d'un oignon. Les dimensions des pyramides auraient ainsi été déterminées par la longueur du règne des souverains qui les avait construites. Cette théorie des accréations eut ses partisans et on vit paraître quelques autres systèmes ingénieux mais hypothétiques, montrant les états successifs par lesquels devaient passer les pyramides au cours de leur édification.

Théoriquement, ce mode de construction aurait consisté à élever tout d'abord une sorte d'obélisque mesurant à peu près la moitié de la longueur totale du monument projeté. Contre cet obélisque, on aurait bâti un massif, lequel élargi en bas par la juxtaposition de petits massifs prismatiques, aurait formé une petite pyramide. Appuyées à ce parement incliné, ces pierres ajustées devaient envelopper cette première construction pour former ensuite un massif parallélépipédique, du genre du Mastaba-el-Faraoun.

Si la vie du pharaon se prolongeait, l'opération continuait, et on élevait sur le massif, ainsi constitué, un autre obélisque et le procédé recommençait pour se terminer par la pose d'un revêtement général. Celui-ci était construit en commençant par le bas et devait donner au monument la forme que nous lui connaissons ».

G. Goyon explique l'erreur de conception de Lepsius par trois arguments (p 55) :

1. *« En effet, à la suite d'une curieuse aberration collective, presque tous les chercheurs qui*

se sont efforcés de trouver une explication du mode de construction des pyramides se sont détournés du vrai problème et ont présenté une solution qui ne répond pas à la véritable question, à savoir comment les pierres ont pu être transportées au sommet de la pyramide (146,59 mètres pour celle de Khéops) ? »

2. *« L'erreur de Lepsius provient peut-être du fait qu'on connaissait mal à l'époque, le principe de la montée mystique de l'âme du roi par escalier, principe duquel nous nous sommes déjà expliqués. »*

3. *« La principale objection que nous faisons au système élaboré par Choisy [en fait le système des accrétions de R. Lepsius] se rapporte au fait que celui-ci ne tient pas compte de la façon dont les accrétions auraient pu être bâties avec les moyens dont disposaient les Egyptiens. Techniquement parlant, le système par couches latérales appliquées sur les flancs d'une pyramide est irrationnel, simplement parce qu'il leur était impossible de hisser les matériaux à la hauteur voulue. D'ailleurs, comme le font remarquer Clarke et Engelbach, le procédé des accrétions constitue la façon de construire la plus "gaspilleuse" et les Egyptiens étaient trop bon bâtisseurs pour cela. »*

Il critique ensuite la description du système constructif des pyramides rapporté par Hérodote : *« Mais Hérodote écoute en historien et non en technicien et c'est la raison pour laquelle ses assertions paraissent assez vagues. Elles furent la cause de bien des erreurs, qui, prises à la lettre, aboutissaient inmanquablement à des impasses »* (p 57), avant de conclure, de façon péremptoire : *« Les pyramides furent construites par couches horizontales et pas autrement »*, pour ensuite développer une théorie de construction à l'aide d'une rampe-échafaudage en brique crue, enroulée en spirale autour de l'édifice.

Cette théorie, variante du système élaborée par Holscher, reprise par N.F. Wheeler et formalisée par Pittman, Dows Dunham et Walter Rose (du MIT) en 1951 (Dunham & Rose, 1965), nous semble bien compliquée et dépensière en énergie, sans être pour autant une solution aux problèmes des couloirs et chambres internes.

En effet, si le volume de cette rampe-échafaudage est minimisé par rapport à la rampe frontale de Lauer (environ 1/7 du volume de la pyramide d'après Goyon), il n'en demeure pas moins qu'il faudra la démonter ensuite, ce qui représente un travail inutile. Dans le genre, la rampe frontale a l'avantage d'être plus simple.

De plus, là encore la confusion de mise en place entre blocs de calcaire (deux tonnes et demie en moyenne) formant le massif de la pyramide, des blocs de granit (de trente tonnes au moins) formant la chambre du Roi et blocs de calcaire de Tourah formant le revêtement terminal est patente. Tout est mis en oeuvre de la même manière par glissement sur la rampe-échafaudage en terre crue. Rappelons que même s'il ne s'agissait que de glisser sur la rampe, il faudrait atteler dix fois plus d'hommes pour vingt-cinq tonnes de granit que pour deux tonnes et demie de calcaire. Si l'on admet qu'un homme peut tirer au maximum vingt-cinq kilos sur une faible rampe glissante (barbotine d'argile), il faudrait cent hommes pour deux tonnes et demie et mille hommes pour vingt-cinq tonnes. On imagine avec peine ce bel attelage prenant les virages aux angles de la rampe, et cela quelle que soit la façon dont on les attelle.

De fait, la théorie de G. Goyon nous semble bien confuse, compliquée voire torturée, sans rien d'une démonstration. Elle relève plus du sensationnel attaché à une énième théorie que d'une recherche scientifique

3.3. Le système par accrétion et outils de levage

Cette théorie s'inspire de celle d'abord décrite par Hérodote qui relate en 450 av. J.-C. les dires de prêtres égyptiens, plus de deux mille ans après l'édification des pyramides de Gizeh sous la IV^e dynastie. Bien évidemment, la tradition orale des prêtres sur une si longue période ne joue pas en faveur de la précision technique. De plus, Hérodote n'est pas un constructeur mais un littéraire, qui ne maîtrise sans doute pas très bien les termes techniques de métier, en langue égyptienne. On peut par ailleurs valablement penser que le savoir-faire exact était quelque peu occulté et que cette connaissance n'était pas à la portée de tous, mais sans doute l'apanage de certains hommes cultivés.

La théorie de l'accrétion fut reprise et développée par Karl Lepsius en 1843. Elle sert ensuite de support aux interprétations de Borchart (trois projets successifs de chambres funéraires).

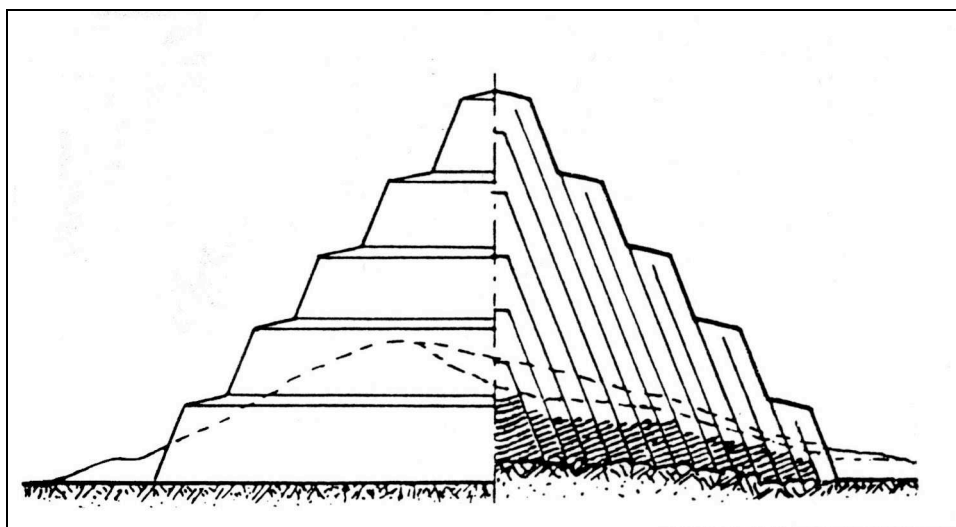


Figure 13. « l'accrétion » selon Lepsius, pour les pyramides à degrés, par addition successive de tranches de maçonnerie.

Cette théorie est intéressante car elle prend en compte la durée de vie du destinataire et s'inscrit dans une vision logique de l'édifice mortuaire. En effet, il semble plausible qu'un mort puisse être enterré (encore aujourd'hui) sous un monticule de cailloux afin de le protéger des prédateurs, et que l'amas de pierres soit proportionnel à l'importance du mort ou du souvenir qu'il laisse. Lepsius envisage donc l'édifice comme accessif, à savoir qu'il grandit avec la durée de règne du pharaon. Citons Lauer (1988, p 68) parlant de Lepsius :

« S'appuyant sur l'observation de la Grande Pyramide d'Abousir, de la pyramide de Meïdoum et de la pyramide à degrés de Sakkarah, il suggère que toutes, ou au moins la plupart des pyramides, y compris les grandes de Gizeh, auraient été construites en gradins avec additions successives de tranches de maçonnerie appliquées aux parées de ces gradins et parallèlement à elles. S'appuyant alors sur cette hypothèse, il émet sa fameuse thèse d'après laquelle les rois auraient ajouté à leur pyramide au fur et à mesure de l'allongement de leur règne, de nouvelles tranches de maçonnerie avec revêtement. La dimension d'une pyramide aurait été ainsi directement proportionnelle à la durée du règne de son possesseur, et cette durée aurait pu en quelque sorte être déterminée par le nombre des revêtements inclus dans la pyramide, comme l'âge d'un arbre est donné par le nombre des cercles de l'aubier dans la section de son

tronc.

Cette théorie, très ingénieuse, mais trop systématique, a été combattue à juste titre par divers auteurs, et principalement par Flinders Petrie ».

La notion d'accrétion semble pourtant évidente, physiquement, constructivement, dans un processus de continuité que l'on peut interrompre aisément.

3.3.1. Lecture d'Hérodote

Mais revenons au texte d'Hérodote d'Halicarnasse traduit par Andrée Barguet (1964, p 228-229) :

« (124) Jusqu'au temps de Rhampsinite, m'ont dit les prêtres, l'ordre régnait en Egypte et le pays connaissait une grande prospérité, mais Khéops, son successeur, réduisit le peuple à la misère la plus profonde. D'abord il ferma tous les temples et interdit aux Egyptiens de célébrer leurs sacrifices ; ensuite, il les fit tous travailler pour lui. Les uns durent, depuis les carrières de la chaîne Arabique, traîner jusqu'au Nil les blocs de pierre qu'on en tirait ; d'autres eurent la tâche de recevoir ces pierres, passées en barque sur l'autre rive, et de les traîner jusqu'à la montagne qu'on appelle la chaîne Libyque. Cent mille hommes travaillaient à la fois, relevés tous les trois mois. Il fallut d'abord dix années de ce labeur écrasant pour construire la chaussée par laquelle ils traînaient les pierres, chaussée qui représente à mon avis un travail presque aussi considérable que la pyramide, car elle est longue de cinq stades, large de dix orgyies et haute, à son point le plus élevé, de huit orgyies; elle est faite en pierres polies sur lesquelles sont gravées des figures. Les dix premières années se passèrent donc à faire la chaussée, ainsi que les chambres souterraines creusées dans la colline sur laquelle sont bâties les pyramides : le roi destinait ces chambres à sa sépulture et, pour qu'elles fussent dans une île, il fit amener l'eau du fleuve par un canal. Il fallut vingt ans pour construire la pyramide elle-même, qui est carrée ; chacune de ses faces a huit plèthres de long, autant en hauteur ; elle est faite de pierres polies parfaitement ajustées, dont aucune n'a moins de trente pieds.

(125) Voici comment on construisit cette pyramide, par le système des gradins successifs que l'on appelle tantôt crossai, corbeaux, tantôt bomides, plates-formes. On la construisit d'abord sous cette forme, puis on hissa les pierres 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. On a mentionné sur la pyramide, en caractères égyptiens, le montant de la dépense en raifort, oignons et ail, pour les ouvriers, et, si mes souvenirs sont exacts, d'après l'interprète qui m'a traduit l'inscription, la somme s'est élevée à mille six cents talents d'argent. S'il en est ainsi, quelle dépense supplémentaire faut-il logiquement envisager pour le fer des outils et pour la nourriture et le vêtement des ouvriers, puisqu'ils ont mis le temps que j'ai dit à faire ces ouvrages, et qu'il leur a fallu de plus, je pense, celui de tailler et d'amener les pierres et de creuser les chambres souterraines, travail assurément fort long ? »

De ce texte premier, fondateur, nombre de chercheurs ont retenu soit le système d'accrétion, soit le système de levage ; d'autres iront jusqu'à mettre en doute le sérieux d'Hérodote, dans la mesure où il leur demeurerait incompréhensible. Le fait est que les auteurs des théories « rampistes » et « mixtes » auront tôt fait d'évacuer ce texte, alors qu'il suggère un véritable procédé, une méthode voire un système constructif, tout au moins auprès des praticiens de l'Art de bâtir, techniciens, ingénieurs et architectes. Encore faudrait-il y réfléchir et prendre le temps d'aller chercher si quelque chose de cohérent, de technique, de constructif, se dissimule derrière cette description d'historien, plus de deux mille ans après leur construction.

Nous reviendrons, bien évidemment sur l'analyse détaillée de ce texte, au chapitre suivant.

3.3.2. Lecture de Louis Albertelli (1993)

Le texte de Louis Albertelli, *Le secret de la construction de la grande pyramide de Khéops*, illustre parfaitement la volonté de résoudre le problème constructif à l'aide d'une seule méthode :

« Parmi les conceptions qui auraient pu apporter une solution à la mise en oeuvre d'énormes monolithes sur les pyramides, figure la proposition de L. Croon, ingénieur allemand. S'inspirant du principe du chadouf, appareil à bascule utilisé, notamment, par les Egyptiens pour puiser l'eau des puits, L. Croon envisage une machine simple à levier, composée d'un mât dressé verticalement, équipé à son sommet d'un axe horizontal. Sur ce dernier pivote, dans un plan vertical, une poutre présentant de part et d'autre de l'axe des longueurs inégales. Le bras le plus court de la poutre supporte le bloc de pierre, tandis que sur le plus long sont suspendues des cordes, distantes de la largeur d'un gradin, auxquelles des groupes d'hommes peuvent se suspendre. Ils font ainsi contrepoids à la pierre arrimée en extrémité du petit bras de levier et permettent son élévation jusqu'au niveau du gradin supérieur.

La même opération est répétée successivement de gradin en gradin, à l'aide d'autres chadoufs ancrés sur les assises supérieures. De cette façon se trouve respectée la procédure opérationnelle précédemment décrite par Hérodote.

Une telle technique permet d'élever des charges de l'ordre de 2,5 tonnes, avec une douzaine d'hommes agissant de tout leur poids en se suspendant aux cordes du plus grand bras de levier. On peut même dépasser les 4,5 tonnes si la traction exercée sur chaque corde correspond au poids d'un groupe de quatre hommes. Il y a là une idée exploitable, séduisante sur le plan théorique. Elle répond en outre aux connaissances pratiques des Egyptiens bâtisseurs des premières pyramides. Cependant l'emploi de cette machine simple présente des limites. En effet, qu'advient-il lorsqu'il s'agit de soulever des blocs de l'ordre de 30 tonnes à plus de 40 mètres au-dessus du terrain naturel ? Nous pouvons estimer qu'il faut alors, suivant la conception du chadouf, un bras de levier théorique de près de 10 mètres actionné par plus de soixante-douze hommes suspendus par groupes de quatre aux cordes espacées d'environ 0,52 mètre (une coudée), cet espacement étant conditionné par la largeur moyenne des gradins. La poutre en bois correspondante, pour résister aux contraintes relatives aux charges en présence, doit avoir une section moyenne de 0,40 m x 0,30 m, pour un poids de l'ordre d'une tonne. Lorsque le bloc de 30 tonnes aura été déposé sur son platelage de madrier et sera détaché, le bras de levier le plus long retombera sous son propre poids. Il faudra alors le relever pour le positionner dans l'attente d'une nouvelle manœuvre de levage. C'est alors que le rapport de 10, existant entre les parties du levier situées de part et d'autre de l'axe, agira en

sens inverse : il sera en effet nécessaire de développer une force verticale de plus de 4,5 tonnes vers le bas, en extrémité du petit bras de levier, pour ramener la poutre dans la position souhaitée. Comment, pratiquement, mettre en oeuvre une telle force ?

Il apparaît une impossibilité de réarmement du levier dans le cas du soulèvement de fortes charges. Et ce n'est pas le seul obstacle à l'utilisation d'une telle machine. L'encombrement du monolithe de 30 tonnes pose un autre problème. Par exemple, l'une des poutres-dalles de couverture de la chambre royale de la Grande Pyramide, mesurant approximativement 6,30 m x,57 m x 1,25 m, a été élevée à près de 49 mètres de haut. Si elle était prise en charge par des chadoufs, elle devrait être déposée et reprise d'assise en assise, sur les bords des gradins, dont l'émarchement moyen est de l'ordre de 0,52 mètre. L'équilibre d'un tel monolithe n'aurait pu être obtenu, sa plus faible dimension étant plus de deux fois supérieure à celle de l'émarchement moyen.

Enfin, abstraction faite des difficultés précédentes, en admettant la viabilité d'un tel système, il faudrait parallèlement déterminer le nombre de chadoufs et le nombre d'hommes indispensables au respect du délai d'exécution total de la pyramide de Khéops. Ces moyens restant à définir, il n'est pas évident qu'ils puissent apporter une réponse satisfaisante, dans le temps imparti pour cette construction. » (Albertelli, 1993, p 216).

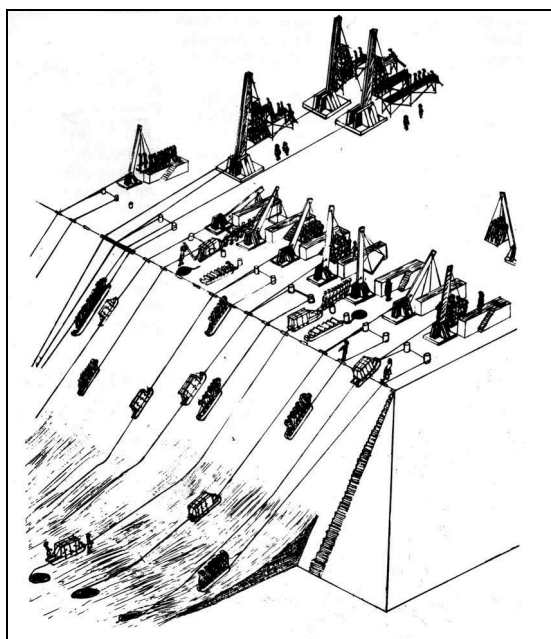


Figure 14. L. Albertelli (1993) : Système d'élevation des monolithes sur traîneaux en rappel grâce à des traîneaux-contrepoids chargés d'hommes

3.4. Le système en lui-même

3.4.1. Lecture de Kurt Mendelssohn (1974)

Kurt Mendelssohn a remporté son doctorat à l'Université de Berlin, où il a étudié la physique avec Planck, Schrödinger et Einstein comme maîtres.

Reprenons, d'abord, littéralement le résumé de l'ouvrage, en deuxième de couverture :

« Ce livre est le récit d'une découverte scientifique déclenchée par une observation fortuite. Quand l'auteur fit d'abord cette observation, il n'y attachait qu'une importance limitée. Mais, en l'approfondissant par la suite, il dégagait des faits qui ont soudain changé les notions des égyptologues sur les pyramides. La thèse qu'il expose dans ces pages est très simple : les pyramides d'Égypte sont immenses, très anciennes et, de l'avis général, parfaitement inutiles.

Ces gigantesques montagnes, bâties de main d'hommes et représentant au total plus de 25 millions de tonnes de calcaire taillé, ont été édifiées en un peu plus d'un siècle. Si elles nous paraissent inutiles, il dut en être autrement pour les anciens Égyptiens, puisqu'ils y ont consacré une quantité de travail presque incroyable et sans bénéfice immédiat apparent pour le peuple.

Le Dr. Mendelssohn analyse l'histoire des pyramides, le problème qui consiste à décider si c'étaient des tombeaux ou des cénotaphes et les lois physiques qui commandaient la construction d'une pyramide. Et c'est à partir de ces données qu'il établit la réponse au problème de la forme bizarre de la pyramide de Méïdoum. En fait, cette forme est due à un désastre technologique ancien et c'est elle qui fournit la solution finale de toute l'énigme : ce qui comptait, ce n'était pas la pyramide elle-même, mais le fait de la construire. Aussi bizarre que cela paraisse, cela ne contredit pas la nature funéraire des pyramides, qui est bien établie ; et cela offre une explication rationnelle de l'effort colossal qui fut entrepris dans un but économique et politique visant à l'établissement d'un état centralisé. Appliquée au problème indépendant des pyramides mexicaines, cette explication devient encore plus évidente.

Après cette analyse des pyramides et de leur objet, le Dr. Mendelssohn offre, à titre de conclusion, un chapitre sur la signification d'une pyramide, qui incite à la réflexion sur les sociétés contemporaines. »

Un extrait choisi de l'ouvrage lui-même, nous donne le point d'inflexion de la thèse :

« Tout au long de la longue histoire de l'Égypte, on se souvient de Snofrou comme d'un roi bienveillant et, pour la première fois, l'on se réfère à un pharaon comme à un être humain et non plus à un dieu abstrait. Le papyrus de Westcar mentionne que le roi s'adressait à ses courtisans comme à des 'camarades' et nous savons d'autre part qu'il appelait 'mon ami' le vieux vizir de son père. Alors que la personne du roi de la Haute et de la Basse Égypte demeurait pour toujours au-delà de la portée du commun des mortels, Snofrou apparaît là, non comme un dieu, mais comme un homme parmi les autres hommes. Les prêtres d'Héliopolis venaient de décréter que le pharaon ne deviendrait divin qu'après sa mort. De son vivant, il était le chef suprême d'une nouvelle forme de société, que nous appelons l'État.

Le projet des pyramides créait un type de communauté qui n'avait jamais existé auparavant. Les villageois tribaux étaient unis par la tâche commune et fondus en un peuple doté d'une conscience nationale. Ce fut probablement pour la première fois qu'ils se considérèrent eux-mêmes d'abord et surtout comme des Égyptiens. Travaillant ensemble, sous une administration unique, ils tendaient fatalement à effacer leurs différences et leurs méfiances. Le travail unificateur poursuivi sur les trois pyramides du règne de Snofrou fit que le lieu de sa sépulture royale devint d'importance secondaire. En fait, il n'était même plus important du tout que sa dépouille fut inhumée dans aucune des trois pyramides. Ces énigmes qui occupèrent les égyptologues pendant longtemps et qui portaient sur la pyramide où le pharaon avait été inhumé ou sur le fait que les pyramides aient jamais servi de tombeaux ne

sont pas résolues par nos considérations, mais elles ont perdu beaucoup de leur importance antérieure.

Une fois que l'on saisit que l'objet principal de la construction des pyramides était un programme de travail menant à un nouvel ordre social, la signification religieuse et l'importance rituelle de la pyramide passent au second plan. Ces montagnes bâties de main d'homme sont des monuments à l'entrée de l'homme dans un mode de vie nouveau, l'Etat national qui devait devenir son foyer social pendant les 5000 ans qui suivirent. » (p 150-151)

...

« Le cœur et la force directrice de l'administration étaient le clergé héliopolitain de Rê, qui avait enclenché et soutenu le projet des pyramides. Commencé avec l'accroissement de la main d'œuvre voulu par Imhotep, le programme avait été un grand succès. L'entreprise avait engendré un service civil immense et bien organisé, qui pénétrait et réglait tous les aspects de la vie. Son rapport étroit avec le pharaon était assuré par le fait que le vizir et les hauts fonctionnaires étaient des princes royaux. Dès lors, l'administration était pleinement intégrée à la direction religieuse de la nation et il était possible de la consulter sur toutes les décisions importantes. Le pharaon lui-même était devenu le symbole spirituel d'une machine administrative vaste et très efficace, dont les directives provenaient du clergé de Rê, qui représentait le gouvernement réel de l'Ancien Empire. » (p 152)

...

« Ces brefs aperçus de la vie à l'Age des Pyramides ont été inclus ici afin de montrer la toile de fond sociale et intellectuelle du gigantesque programme technologique. On y trouve le reflet d'une société sobre et essentiellement pratique, où l'esprit et les réactions sont éminemment raisonnables et ne semblent guère consacrer de grands efforts aux problèmes ésotériques. Construire des pyramides, ainsi que nous le suggérons, pour des raisons politiques et économiques semble s'accorder beaucoup mieux à l'image de cette communauté raffinée et de sang-froid que la consécration d'efforts prodigieux à l'érection de plusieurs tombeaux énormes pour enterrer un seul pharaon. Les pyramides ne représentent pas un but en elles-mêmes, mais elles sont le moyen de parvenir à un but : la création d'une nouvelle forme de société. Ces énormes tas de pierres marquent le lieu où l'homme a inventé l'Etat. »

L'intérêt, pour nous, de l'ouvrage de Kurt Mendelssohn dans son ensemble, et de ces extraits choisis plus précisément, bien que nous sortions quelque peu de notre domaine de recherche est de deux ordres ; d'une part cette idée que le fait de la construire peut être plus important que toute autre interprétation, c'est-à-dire que la communauté du travail collectif constitue une solidarité de service national, creuset d'une fusion nationale, d'un niveau de conscience solidaire nécessaire à l'avènement d'un degré supérieur d'organisation politique qu'est l'Etat par rapport à l'échelon tribal, des cités ou même du système des castes, d'autre part que cette nouvelle structure d'ordre étatique correspond, au travers de la prépondérance du clergé héliopolitain, à l'émergence d'une première forme de monothéisme dont le soleil est le dieu générateur, dont le représentant humain sur terre n'est autre, bien sur, que le pharaon en exercice.

Bien évidemment, dans l'esprit du culte des Ancêtres qui survit encore un peu partout en Afrique, les pharaons morts seront divinisés et rejoindront la Force suprême, celle dont tous les dieux différents du panthéon syncrétique en cours d'unification permanente ne sont que des avatars ou des manifestations particulières.

Dès lors on comprend mieux que la pyramide (m-r en égyptien qu'on ne peut s'empêcher de rapprocher du mont Méru, axe du monde pour les peuples de l'Inde) faite de main d'homme puisse être considérée, en terme proche de l'idolâtrie, comme une manifestation divine.

« *Construisons une tour et faisons nous un nom* » nous dit la Bible, (*La genèse*, traduction de Louis Segond, 1995) :

« Toute la terre avait une seule langue et les mêmes mots.

Comme ils étaient partis de l'orient, ils trouvèrent une plaine au pays de Schinear, et ils y habitèrent. Ils se dirent l'un à l'autre : Allons ! faisons des briques, et cuisons-les au feu. Et la brique leur servit de pierre, et le bitume leur servit de ciment. Ils dirent encore : Allons ! Bâtissons-nous une ville et une tour dont le sommet touche au ciel, et faisons-nous un nom (une renommée), afin que nous ne soyons pas dispersés sur la face de toute la terre. L'Eternel descendit pour voir la ville et la tour que bâtissaient les fils des hommes. Et l'Eternel dit : Voici, ils forment un seul peuple et ont tous une même langue, et c'est là ce qu'ils ont entrepris ; maintenant rien ne les empêcherait de faire tout ce qu'ils auraient projeté. Allons ! Descendons, et là confondons leur langage, afin qu'ils n'entendent plus la langue les uns des autres. Et l'Eternel les dispersa loin de là sur la face de toute la terre ; et ils cessèrent de bâtir la ville. C'est pourquoi on l'appela du nom de Babel, car c'est là que l'Eternel confondit le langage de toute la terre, et c'est là que l'Eternel les dispersa sur la face de toute la terre. »

La mythologie grecque fait du Mont Olympe le séjour de Zeus et de tout le Panthéon des Olympiens, de même les Sumériens construisait les ziggourats pour y loger leurs dieux, les Egyptiens avant tous les autres peuples inventèrent, de façon complémentaire, et la Monarchie de droit divin et le Monothéisme, projection céleste de ce qui se passe en bas sur terre ou avatar terrestre de ce qui est en haut des cieux. *Ce qui est en haut est comme ce qui est en bas* nous disent toutes les religions et la théogonie reflète l'anthropogonie et inversement.

Tout ceci pour dire que la pyramide n'est peut-être qu'un outil d'ordonnement, qu'une méthode de structuration des esprits, des obligations et des devoirs, d'une nouvelle société d'un ordre politique supérieur.

Hérodote nous décrit le degré de contrainte imposé à tous par Khéops et Khéphren et que Mykérinos lèvera, et que d'aucuns à tort, nous semble-t-il prendront pour de l'esclavagisme : « *Jusqu'au temps de Rhampsinite, m'ont dit les prêtres, l'ordre régnait en Egypte et le pays connaissait une grande prospérité, mais Khéops, son successeur, réduisit le peuple à la misère la plus profonde. D'abord il ferma tous les temples et interdit aux Egyptiens de célébrer leurs sacrifices; ensuite, il les fit tous travailler pour lui* ». Ne faudrait-il pas mieux essayer d'y voir là, une critique apportée, à deux mille ans de distance, par certains prêtres qui avaient eu à souffrir de la fermeture de leurs temples et de la suppression des sacrifices à leurs dieux ? Il s'agirait alors d'une rancœur de leur part, en cela que leurs anciens avaient risqué de perdre leur sacerdoce, au nom d'un premier monothéisme *héliopolitain* imposé concomitamment à la création de la monarchie de droit divin.

Il serait sans doute intéressant de fouiller ce thème, mais il est par trop éloigné du sujet de notre recherche

3.4.2. Lecture de Eric Guerrier (1981)

Là encore reprenons le texte résumé de la quatrième de couverture :

« Le problème de la construction des pyramides a intéressé Eric Guerrier en tant qu'architecte, et non sous l'angle ésotérique. C'est-à-dire qu'il croit pouvoir dissocier largement la question comment ont été érigées les pyramides, de la question de savoir pour quoi et pourquoi elles ont été érigées.

Pensant avoir construit une hypothèse complète, rendant compte de tous les aspects constructifs (ce n'est le cas d'aucune des autres hypothèses déjà avancées), il lui semble que le mystère technique s'en trouve en majeure partie dissipé et peut se résumer dans notre pensée moderne à ce que nous aurions pu appeler "le principe de la pyramide" ».

Il en arrive à montrer que l'aspect le plus stupéfiant de cette entreprise technique ne réside pas dans le nombre ou le poids des pierres, mais dans la formidable organisation du chantier. Aspect difficile à saisir, sauf pour les spécialistes. Et il conclut en cherchant quand même à cerner la volonté qui a sous-tendu un projet si extraordinairement organisé... Pour qui, pour quoi et pourquoi ?

Eric Guerrier considère que toutes les pyramides d'Égypte, malgré la diversité des formes, des matériaux et des sites, ont toutes été construites sur le même *principe*, à l'instar du premier modèle conçu par Imhotep pour le pharaon Djoser à Saqqarah ; les grandes pyramides lisses ayant (pour lui et bien d'autres) sans doute la même structure interne, il suffira de compléter les degrés pour les rendre lisses !

Citons quelques extraits significatifs des hypothèses avancées :

« Trouver un système de forme et de construction qui permette de monter un édifice aussi haut et de l'étendre aussi longtemps que la vie royale le permet, tout en étant constamment prêt à être achevé dans un délai relativement court » (p 29).

Nous ferons remarquer l'erreur fondamentale d'appréhension (à notre avis) du domaine de la construction et de l'architecture, conception dite « formaliste », qui fait appel en priorité à la forme des ouvrages – au jeu des formes - plutôt qu'à la technique de construction. Nous pensons au contraire et, surtout dans les ouvrages de génie civil ou d'architecture vernaculaire ou primitive, que la forme est fonction résultante de la technique de construction.

« La logique constructive résultante.

Mais alors, suivant laquelle ? Toutes les coupes que nous avons empruntées à divers égyptologues parmi les plus illustres, répondent sans ambiguïté à cette question : cette logique constructive s'appuie sur le principe du contre-fort. Ah ! ... c'est tout ?

L'illustration de ce principe est donnée par tout assemblage en forme de faisceau. Et notamment ces espèces de cônes que les gens des marais font en dressant les uns contre les autres des brassées de roseaux tranchés, pour les faire sécher. On les appuie même sur une espèce de claie centrale, (fig.N).

C'est l'exacte image de la structure pyramidale égyptienne : la construction est constituée d'un tronc de pyramide central de pente assez raide, monté par assises horizontales classiques

(fig.O). Pour contrecarrer sa tendance centrifuge telle que nous l'avons fait sentir, une série dégressive de strates inclinées vont être accolées successivement contre ses parois (fig.P et Q).

Chacune de ces strates montre une tendance à glisser le long du joint incliné et à flamber, c'est-à-dire à déferler. Mais chacune des tendances au déferlement est elle-même contrecarrée par la poussée de la strate suivante. Et cet effet en cascade n'obtient son meilleur rendement (je vous en passe l'explication) que par la diminution progressive de la hauteur des strates.

Chacune de ces strates se comporte comme un mur penché qui a tendance à s'écrouler sur le noyau central. Ces poussées symétriques s'annulent et donnent surtout une résultante qui plonge dans l'axe de l'édifice (fig.84).

En dehors de la beauté du symbole de toutes ces forces convergeant sur le centre de la chambre mortuaire, ce résultat se formule en conclusion : la stabilité résultante montre ici une tendance générale qui va vers une augmentation centripète de la cohésion interne » (p 216-217-218).

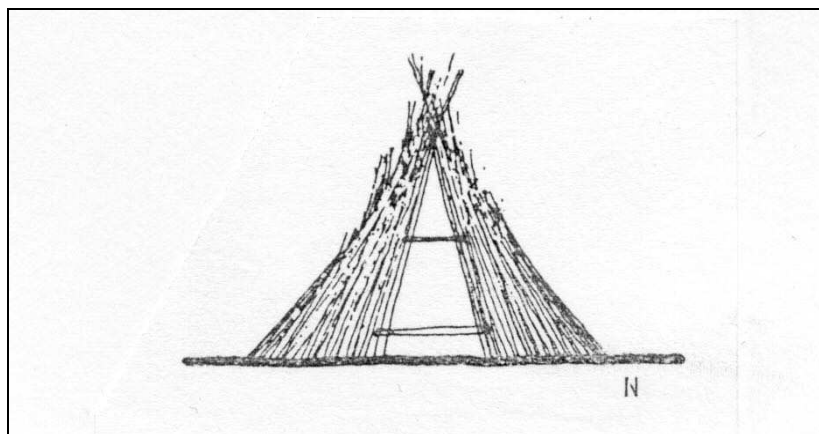


Figure 15. Formez les faisceaux d'après Eric Guerrier (1981)

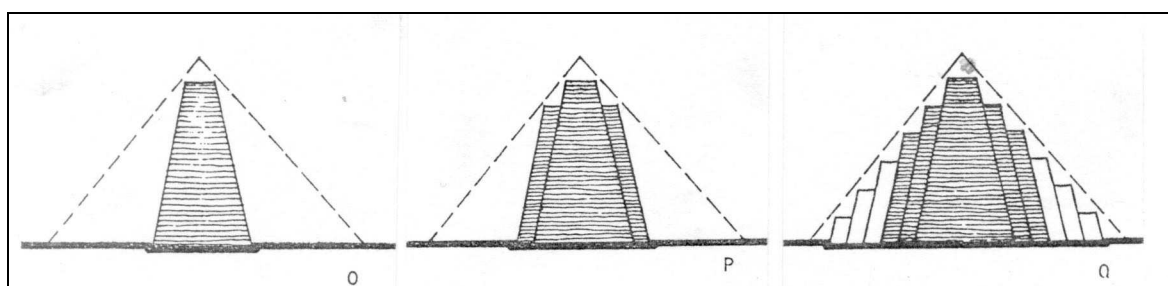


Figure 16. Des contreforts successifs qui contrecarrent la tendance, d'après Eric Guerrier (1981)

Que penser de ce travail ? Premièrement, qu'il en vaut bien d'autres et qu'il convient tout autant de le prendre en considération ; deuxièmement, qu'il reflète bien ce mode d'appréhension formaliste ; enfin que le problème de la méthode constructive est bien vite évacué par la formule « *la construction est constituée d'un tronc de pyramide central de pente assez raide, monté par assises horizontales classiques* ». En effet, on est en droit d'attendre qu'on nous montre et démontre quelle est cette fameuse méthode d'assises horizontales

classiques ! Cette première pyramide centrale est-elle construite avec un système constructif « rampiste » ou « machiniste » ? etc.

E. Guerrier nous soumet alors un schéma qui se veut la synthèse de toutes les pyramides : pyramides à degrés, pyramides lisses, pyramides à textes si l'on assimile ses *pierres de complément* au remplissage des gradins (des pyramides d'Abousir) et/ou aux *backing-stones* des pyramides à texte.

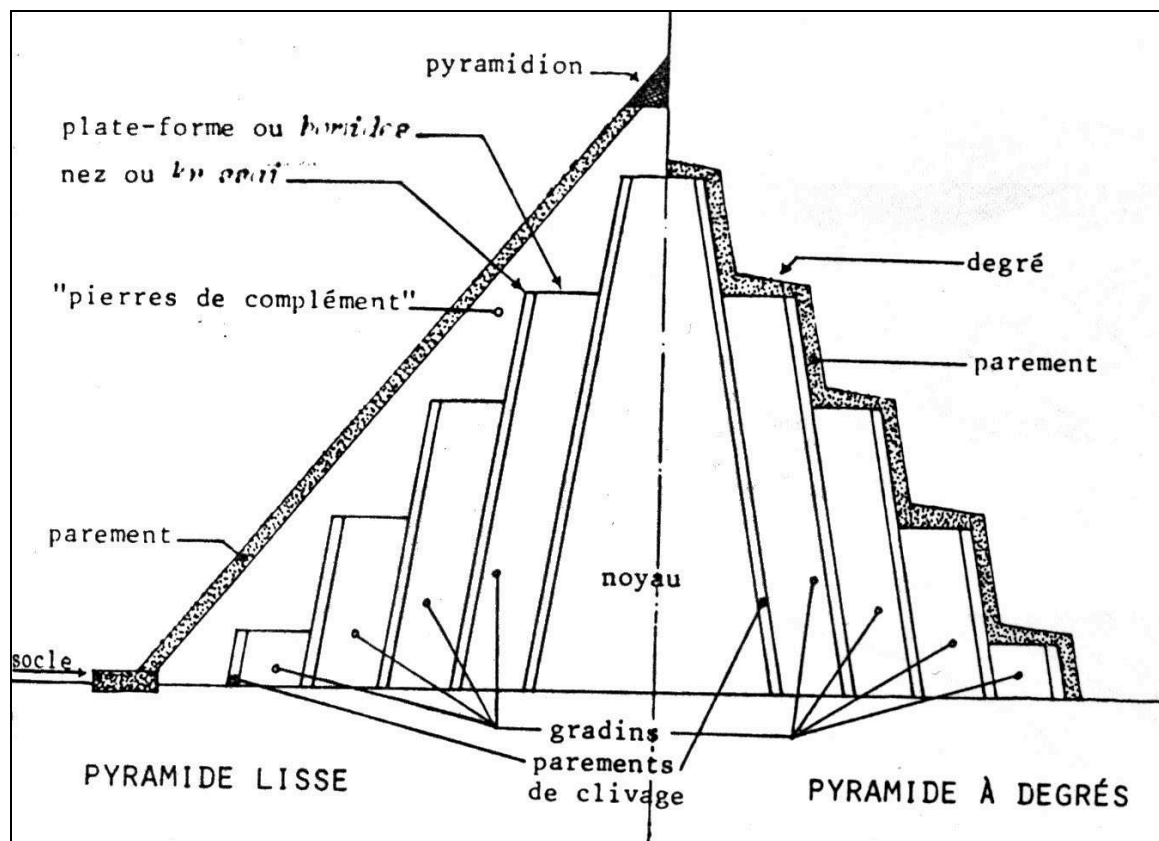


Figure 17. Schéma de synthèse (?) des différentes pyramides, proposé par E. Guerrier (1981)

Malheureusement, la chose n'est pas si simple, hormis ce « *noyau monté en assises horizontales classiques* », (on ne sait pas comment), si les gradins existent bien dans les pyramides à degrés, les parements eux n'y sont pas, qui existent bien dans les pyramides à textes ! Mais aucune de ces disposition n'est visible dans les grandes pyramides lisses, la sape intempestive d'Al Mamoun devrait nous les montrer.

Si le couloir ascendant de la Grande Pyramide de Khéops comporte, en effet, des pierres de parement verticales par endroit, de façon régulièrement espacées, ces dispositions répondent à tout autre, en l'occurrence - étant percées par le couloir - à liasonner les deux côtés et à porter l'encorbellement (ce que nous verrons par la suite).

Aussi, il semblerait plus correct, de la part des auteurs, de ne pas dessiner en *pointillé* ces structures internes hypothétiques qui orientent les esprits et induisent en erreur les lecteurs.

Cette interprétation réductrice ne tient aucun compte du module des pierres mises en œuvre dans les différents types de pyramides, et correspond à la vision courante « d'évolution des formes architecturales » dispensée par les connaissances de l'histoire de l'Art.

En conclusion, ces ouvrages, s'ils cherchent à constituer des solutions viables, souffrent bien souvent du défaut de compilation bibliographique. On y trouve surtout des interprétations, des adhésions à des principes déjà proclamés, des recherches de preuves par les calculs, de la présence hypothétique du nombre d'or. Interprétant, acceptant ou reniant les textes fondateurs, chacun cherche les vestiges d'une cohérence de construction de la pyramide, sans jamais la trouver. Mais surtout, tous ces systèmes ne prennent jamais en compte les dispositifs intérieurs de la pyramide de Khéops : couloir descendant et chambre souterraine, chambre de la Reine et couloir horizontal, couloir ascendant et Grande Galerie, chambre du Roi et arcs de décharge, couloirs de ventilation, tous éléments constitutifs en liaison directe avec le mode de construction de la pyramide. Ils les considèrent bien plutôt comme des éléments indépendants, étrangers, presque surajoutés. De plus, toutes ces hypothèses proposent la construction à partir d'un seul procédé, lui fixant la tâche impossible de résoudre des problèmes techniques de mise en oeuvre d'échelles différentes.

4. DEMARCHE ET POSTULATS

Après l'analyse des différentes théories et la lecture des différents auteurs, il nous semble possible d'apporter une contribution positive et rationnelle à la recherche sur le mode de construction des pyramides, à partir d'une approche novatrice, basée sur le type de raisonnement du constructeur dans sa pratique de l'Art de bâtir.

4.1. Une question d'architecte-ingénieur constructeur

Si les pyramides sont bien « objet » d'archéologie égyptienne, elles sont avant tout, aujourd'hui comme hier, « sujet » d'application de la maîtrise d'œuvre, de la construction, de l'ingénierie et de l'architecture. A ce titre, la recherche du mode de construction concerne avant tout les praticiens de ces disciplines techniques.

En effet, une toute autre approche consiste à se poser les questions et y apporter des réponses en termes de conception d'ouvrage, de logique constructive, de procédé technique et de méthode opératoire, démarche que l'on enclenche en terme de conception d'un « projet de construction », en formulant ainsi la question :

« Si j'avais à construire une pyramide en pierre, comment m'y prendrais-je ? »

Les réponses de l'architecte-ingénieur, en praticien de la construction, sont alors :

- *Premièrement* : rechercher un site capable de fournir les matériaux nécessaires au plus près et capable de supporter l'ouvrage (et si possible bien en vue sur la rive occidentale du Nil) ;
- *Deuxièmement* : s'inspirer des expériences-connaissances des prédécesseurs et tenter de faire encore mieux en recherchant le procédé le plus pratique, le plus simple à exécuter, le plus méthodique, et le plus adapté aux moyens dont on dispose en matériau, en main d'œuvre et en outillage et savoir-faire (à l'époque de l'Ancien Empire) ;
- *Troisièmement* : rechercher à économiser les efforts et la quantité de travail en évitant la construction d'ouvrages annexes qu'il faudra démolir, donc en « construisant sur ce qui vient d'être construit », en prenant appui sur ce qu'on vient de faire à l'image de l'accroissement d'une fourmilière.

4.2. Trois postulats

Trois « intuitions » complémentaires, posées comme « postulats », suffisent à amorcer un raisonnement scientifique, technique et opératoire qui se développera logiquement pour aboutir à un double système d'extraction et de construction, homothétique et récurrent, par phases successives d'équilibre de volume ; on le résumera dans la formule lapidaire suivante : « exploiter alentour pour foisonner au centre », c'est à dire emprunter les matériaux sur place, autour et au plus près, et édifier le tas (pyramidal) au milieu, à l'image « d'un château de sable » sur une plage.

L'enfant ramassera, avec ses mains écartées, le sable sur les cotés pour en faire son château au

milieu. Pour faire accroître son château, il faudra des bras plus grands pour emprunter du sable au plus large et remettre une couche sur son édicule (avec l'aide de son papa). Il y a toujours « équilibre » des masses entre la matière empruntée alentour et le tas constitué au centre.

Ce principe enfantin est le véritable « théorème », le « b-a, ba » du Génie civil et du Vernaculaire, qui fait que : creuser une fosse provoque un tas de terre, faire un fossé provoque un talus, une excavation de pierre fournira le volume de matériaux nécessaire et suffisant à la maçonnerie de la maison, etc.

Mais ce principe est réciproque : c'est à dire que si l'on veut faire un tas, il faut bien emprunter la matière quelque part autour.

On peut même s'interroger valablement, dans toute l'histoire des Ouvrages et Monuments du Génie Civil, Rural, Militaire et Religieux, afin de savoir s'il existe des « tas » réalisés sans emprunter les matériaux alentour.

4.3. Cinq éléments d'analyse

Notre raisonnement reposera sur cinq éléments d'analyse :

1. la distinction entre deux types de pierre entrant dans la construction de la pyramide de Khéops :

- d'une part les blocs de calcaire, de 2,5 tonnes (en moyenne), constitutifs du massif de gros oeuvre de la pyramide, que l'on mettra en œuvre à l'aide d'une « *machine faite de courtes pièces de bois* » (la machine d'Hérodote)
- d'autre part les 52 monolithes de granite d'au moins 30 tonnes (certains pèsent jusqu'à 60 tonnes) constituant le plafond et les « arcs de décharge » de la chambre du roi, situés entre 45 et 65 mètres de hauteur à l'intérieur de la pyramide, qui seront mis en place par translation sur des plans inclinés, au moment opportun de la construction.

Soit deux types distincts de volumes de blocs et de qualité de pierre qui, en raison de leur poids respectif, nécessitent, à l'évidence, des techniques de mise en œuvre différentes.

2. La recherche-développement d'un « système constructif » qui permette de construire en pyramide, dès le début, et par « accroissement pyramidal », c'est-à-dire en faisant accroître homothétiquement, par additions répétées d'éléments unitaires, un pyramidion premier au centre de la base, à l'image du château de sable, sans recours à un quelconque ouvrage annexe. La modélisation de ce système est essentielle à son appréhension-compréhension-extrapolation, qui permet d'appréhender le système, d'en comprendre la logique interne et ensuite d'extrapoler « corollairement » pour reconnaître : quand, comment, où, pourquoi telles et telles dispositions ont été prises, que l'on retrouve et vérifie sur le site, sur et dans la pyramide.

3. L'analyse topographique, tectonique, géologique, stratigraphique et pétrographique, ainsi

que l'examen de la fracturation naturelle des roches constitutives du plateau calcaire de Gizeh, dans leur orientation et géométrie par rapport à l'axe du plissement. Elle permettra d'en déduire un mode d'extraction en carrières en surface en fonction des strates ou bancs de pierre, prenant en compte les reliquats de carrières visibles sur le site (au pied des pyramides de Khéphren et de Mykérinos).

4. La prise en considération et l'analyse du texte d'Hérodote (traduit par Andrée Barquet, 1964-85), qui décrit, de façon très précise, la technique de construction à l'aide de machines capables d'élever un bloc d'une assise sur l'autre, description par trop précise pour être une simple élucubration de sa part, et pour être évacuée sans plus chercher à la comprendre. Cette description éminemment technique, dont les traductions littéraires différentes manquent de clarté, est de ce fait, demeurée « hermétique » durant 25 siècles !

5. L'observation des pyramides elles-mêmes et particulièrement du sommet et des arêtes de Khéops (dans leur état actuel) et de la partie érodée de Khéphren. La restitution optique du sommet arasé de Khéops par la technique de la « camera lucida » (chambre claire) fournie par Edward William Lane en 1827, nous semble particulièrement intéressante, par le fait qu'elle offre à constater une disposition particulière des blocs.

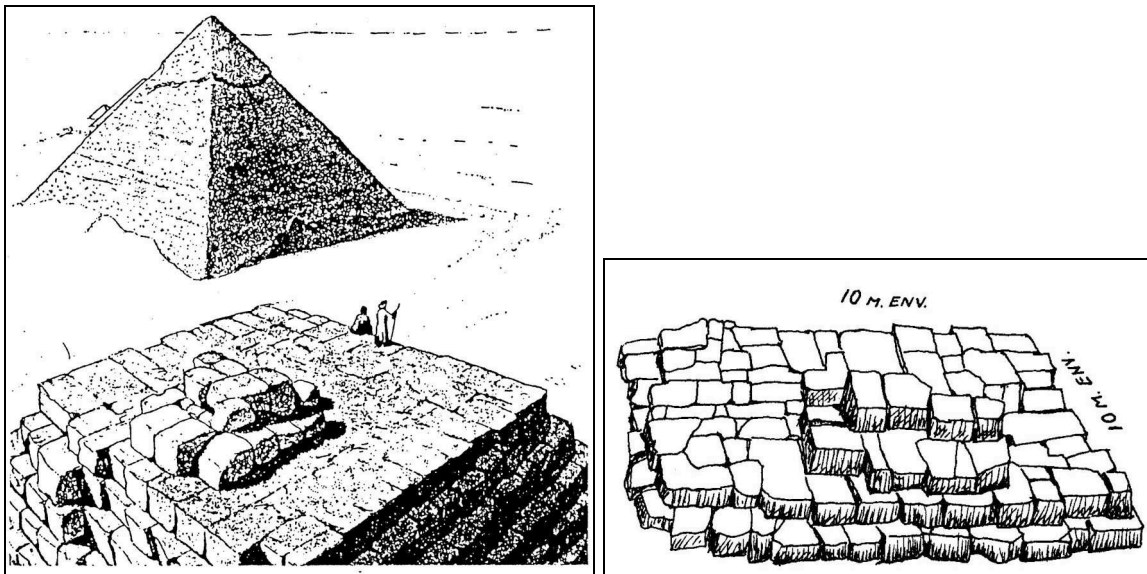


Figure 1. Sommet de la pyramide de Khéops : restitution par « camera lucida » de E.W. Lane (1827), à gauche, et telle que « vue ? » par Maragioglio et Rinaldi (1965), à droite.

De fait, toutes les théories « rampistes » participent du même « amalgame » entre ces deux types de blocs (calcaire et granite) et cherchent à résoudre leur mise en oeuvre avec une seule et même technique, imposée par les monolithes de granite de 30 tonnes (en moyenne) de la chambre du Roi, à savoir la translation par glissement ou roulement sur « des levées de terre ».

Néanmoins tous les auteurs « rampistes » et « mixtes » admettent aisément, a priori ou a fortiori, qu'il est possible d'élever un bloc calcaire de 2,5 tonnes de la hauteur d'une assise, en moyenne 0,70 m, avec une « machine » de bois (chèvre ou levier).

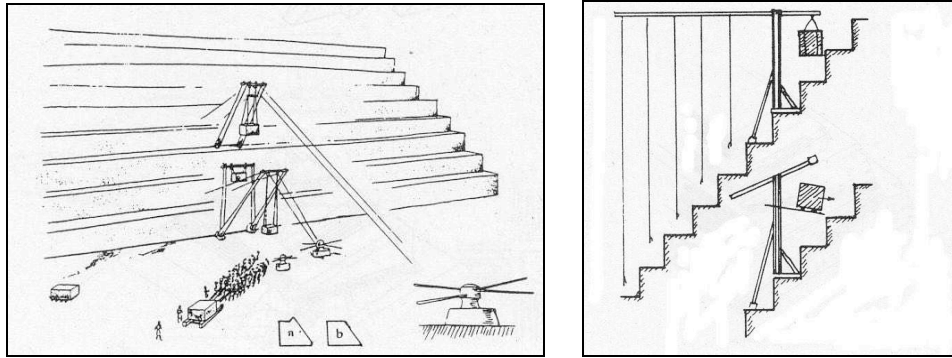


Figure 2. Chèvre de M. Strub-Roessler (1952), à gauche, et élévateur de L. Croon (1925) à droite.

Quant aux « machinistes » (plusieurs auteurs, en général des ingénieurs, ont proposé des machines faites de pièces de bois plus ou moins courtes : élévateur de L. Croon (1925), chèvre de H. Strub-Roessler (1952), ascenseur oscillant de Legrain et Choisy (1904), chadouf de A.C.Carpiceci (1980)), ils se sont bornés, jusqu'à présent, à rechercher la « machine », sans envisager le « système » constructif dans son ensemble, dans sa méthode, sa logique, dans sa progression additionnelle. Cependant A. Choisy (1904, p 99 : « les pyramides sont exécutées par application successive de tranches de maçonnerie aux flancs d'un pyramidion central ») proposera les schémas de principe d'accroissement des différents types de pyramides, qui se révèlent justes, sans toutefois les démontrer et sans fournir d'explication de mise en œuvre.

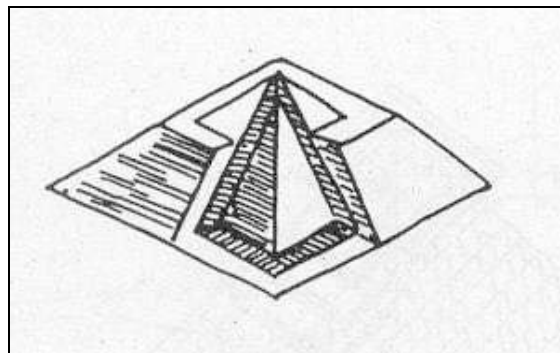


Figure 3. Schéma de principe des pyramides lisses par A. Choisy (1904)

5. KHEOPS : LA PYRAMIDE REVELATRICE

Le pari de cette recherche sur le « système constructif des pyramides » fut bien de considérer celle de Khéops - la plus « énigmatique » du fait de ses dispositifs intérieurs (chambres, couloirs, grande galerie, etc.) - comme la plus « révélatrice » du système constructif, pour autant que celui-ci puisse les réaliser corollairement, les expliquer et les justifier techniquement dans leurs fonctions, leurs emplacements et leurs formes.

Les partis pris habituels, du manque de bois, de la méconnaissance du rouleau (poulie) et des machines de levage (levier), de l'exploitation des blocs en carrières souterraines dans la chaîne arabique, ne peuvent être soutenus plus longtemps, quand on observe le niveau technologique atteint par la charpenterie, la mâture et la timonerie de la barque "sacrée" de Khéops, entre autres.

Quant à l'ingéniosité des maîtres d'œuvre des grandes pyramides mise en doute par certains, la réussite et l'ampleur même de l'œuvre, ainsi que la qualité et la tenue des ouvrages en attestent aujourd'hui encore.

Les prémices d'une approche différente sont constituées pour nous par deux aspects. D'une part, une relecture du texte antique et d'autre part une réflexion portant sur les traces lisibles dans les vestiges de la pyramide et aboutissant à préciser les étapes d'un procédé de construction cohérent et vérifiable sur les lieux.

5.1. Analyse du texte d'Hérodote

Revenons donc d'abord à la description d'Hérodote pour en parfaire la lecture. Le texte établi par Ph.-E. Legrand pour les éditions des Belles-Lettres (*Hérodote*, 1948, p 154) nous paraît effectivement présenter quelques lacunes. Le passage qui nous intéresse le plus, à savoir le mode de construction des pyramides proprement dit, est proposé sous cette forme :

« Voici comment fut construite cette pyramide : d'abord une succession de degrés, que certains appellent crossai (pierres formant saillie) et d'autres bomides (estrade, socle) ... »

Mais une autre traduction est proposée par Barguet (*Hérodote, L'Enquête*, Livre II, Ed. Gallimard, 1964-1965, p 228) :

« Voici comment on construisit cette pyramide, par le système des gradins successifs que l'on appelle tantôt crossai, corbeaux, tantôt bomides, plates-formes. On la construisit d'abord sous cette forme, puis on hissa les pierres 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 ... »

Ces deux traductions-interprétations différentes nous forcent à nous interroger, à chercher à comprendre !

Nous proposons donc le retour à une traduction mot à mot autant qu'il est possible en grec ancien et à une analyse du texte avec la vision d'un constructeur. En effet, Hérodote n'était pas constructeur lui-même et ne connaissait sans doute pas très bien la langue égyptienne, du moins dans ses aspects les plus spécialisés. Peut-être nous offre-t-il une interprétation plus littéraire ou « journalistique » que technique. Il prend pourtant soin de choisir ses termes, au

point semble-t-il d'inventer le néologisme de *krossai*.

Voici donc cette traduction littérale (traduction et notes sur la page 154 (II 125) de *Hérodote*, par Ph.-E. Legrand (1948), par Maurice Born, Dole, 1994) :

« Ainsi fut construite cette pyramide : quelques-uns appellent ce mode de faire les *krossai* et les *bomides*, une telle appellation [*bomides*] au début, après qu'ils construisent, une telle autre [*krossai*]. Les pierres suivantes furent soulevées grâce à des machines faites de morceaux de bois court, en les enlevant de dessus le sol [pour les mettre] sur la première rangée de degrés ... »

Fixons d'abord le sens des deux termes « techniques »

- Bomides - Βωμιξ, ἰδοζ - est un diminutif de Βωμοξ, estrade, socle. Bailly (1950) dit : petit autel (Hdt. 2,125), puis pour Βωμισκοξ, base, socle, piédestal (Héron, Spir. 191, 193)
- Krossai - Κροσσαί, ων - désigne des pierres formant saillie (*Iliade* XII, 258,444). Bailly dit : pierres saillantes ou corbeaux formant comme un escalier le long d'une construction.

Ces définitions indiquent clairement deux types d'éléments constitutifs (de pierres) du procédé de construction. Comme si existaient d'une part des pierres d'assise servant d'appui qui se nommeraient *bomides* et d'autre part des pierres de bordure, d'arête, qui se nommeraient alors *krossai*.

Mais, d'une part, Hérodote dit que ces pierres sont appelées soit *krossai*, soit *bomides* (indiquant par-là leur similitude), et d'autre part, nous savons que tous les blocs de pierre constitutifs du massif de gros œuvre sont identiques ou banalisés dans l'érection d'une pyramide excepté le revêtement final et les monolithes de granit de la chambre du Roi. Ces termes ne désignent donc pas des éléments différents, mais des positions différentes dans la construction, ou plus précisément des stades, des situations différentes des mêmes pierres dans le processus de construction.

De plus, Hérodote use du terme μετ.εξετεροι, qui signifie « quelques-uns », ou plus proprement « d'autres successivement » (Hdt.1, 63, etc., selon Bailly), là où Legrand traduit simplement « certains ». Nous voyons dans l'utilisation du terme employé par Hérodote une confirmation du fait que, à un moment, la pierre s'appelle *bomides* (avant), puis, à un autre moment, elle se nomme *krossai* (après). Ainsi, nous dirons que les pierres (blocs) sur lesquelles on s'appuie sont appelées *bomides* et les pierres (blocs) que l'on pose dessus sont appelés *krossai* uniquement lorsqu'elles montent sur l'arête.

On comprend ainsi pourquoi et comment les blocs changent de nom au fur et mesure de l'accrétion-exhaussement de la pyramide.

Mais cette démonstration semble dire bien plus : elle infirme le mode de construction qui verrait la pyramide bâtie par paliers, par surfaces successives, donc le système rampiste, et confirme au contraire un système qui fonctionne par ajouts successifs sur les arêtes d'une pyramide en perpétuel grossissement, donc le système d'accrétion-exhaussement.

Ce procédé des *bomides* et *krossaï* s'appliquerait donc à la construction du massif de gros œuvre de la pyramide, composé on le sait de blocs d'environ 2,5 tonnes en moyenne, de calcaire local emprunté au plateau de Gizeh.

Puis, « *les pierres suivantes* » (ou de complément) correspondraient au revêtement final en pierre de Tourah. Elles sont mises en oeuvre « *à l'aide de machines faites de bois court ...* » Elles viennent donc, à l'identique des blocs du massif, se poser telle une dernière couche de *krossaï* recouvrir les *bomides* du massif, et à notre avis de la même manière, à savoir que les machines faites de bois court qui ont servi à les élever ont de même servi à construire le massif de gros oeuvre, par couches successives.

Chacun peut s'accorder, « rampiste » ou « machiniste », à considérer qu'un levier simple capable de lever 2,5 tonnes et son trépied, peuvent constituer « une machine faite de courtes pièces de bois », telle que la décrit Hérodote.

La couche de revêtement finale en place, faite de *krossaï*, comporte des redans, qu'il va falloir abattre, ravalier pour aboutir à un édifice lisse (tel qu'on le voit en haut de Khéphren) et ce en commencement obligatoire par le haut, les ouvriers étant à pied d'œuvre sur l'assise inférieure non encore ravalée, pour faire ce travail de ravalement.

Par ailleurs, Hérodote ne parle aucunement de l'ensemble du dispositif intérieur que constituent les chambres, couloirs et galeries sans doute parce que les prêtres égyptiens ne lui en ont rien confié, mais « *des chambres souterraines creusées dans la colline sur laquelle sont bâties les pyramides ; le roi destinait ces chambres à sa sépulture et, pour qu'elles fussent sur une île, il fit amener l'eau du fleuve par un canal* ».

Faut-il croire ce que rapporte Hérodote ? Pourquoi pas ? Cela nous semble assez facile à vérifier en recherchant l'entrée de ce canal au pied de la falaise du plateau de Gizeh et jusqu'entre les pattes du Sphinx !

Pourtant, à notre avis, cette histoire trop bien révélée par des prêtres qui omettent de parler des aménagements intérieurs semble douteuse. A moins que, parlant des chambres souterraines, ils fassent allusion au dispositif d'aménagement intérieur que l'on connaît. On sait en effet que le niveau du Nil étant à l'époque plus haut qu'aujourd'hui, il était possible d'avoir de l'eau dans la chambre souterraine taillée dans le roc du plateau.

Mais tel n'est pas notre sujet. Revenons une fois encore sur le système des *bomides* et des *krossaï*. Certaines traductions considèrent qu'il s'agit « *d'un mode de faire* », sorte de procédé de construction ; d'autres introduisent la notion de « *système des gradins successifs* », à savoir une méthode récurrente. De fait, à l'analyse, la notion de système constructif récurrent est bien suggérée par le texte d'Hérodote par les termes :

- *bomides* : plate-formes pierres formant socle appellation des pierres « *au début* » pierres sur lesquelles on appuiera les autres (*krossaï*);
- *krossaï* : corbeaux pierres en saillie , appellation des pierres « *après qu'ils construisent* » pierres d'arrêt appuyées sur les *bomides* précédents.

Ces termes, appliqués successivement aux mêmes blocs suivant leurs rôle et position au cours de la construction, suggèrent bien un enchaînement, une récurrence, un procédé continu et

systematique où des blocs d'abord *krossai* deviennent *bomides* pour les *krossai* suivantes, où les premières servent de socle aux suivantes, où l'édifice se construit sur lui-même, où la phase précédente ($n - 1$) sert d'accès et d'appui à la phase considérée (n), elle-même servant d'accès et d'appui à la phase suivante ($n + 1$) dans un grossissement par accréation exhaussement successifs, en fait par homothétie volumique pyramidale.

Ce système, rappelons-le, s'applique à la construction du massif de gros oeuvre, fait de blocs de 2,5 tonnes de calcaire local pris sur le site, ne nécessitant en fait aucun échafaudage ou rampe quelconque, mais uniquement des machines faites de courtes pièces de bois, que l'on déplace ou que l'on multiplie, puisque la pyramide 1 sert d'appui à la pyramide 2, qui sert d'appui à la troisième et ainsi de suite.

Mais ce système, séduisant intellectuellement, ne serait-il qu'une vue de l'esprit, voire une chimère de systématique, une théorie abstraite ou artificielle dépourvue d'application réelle, ou bien constitue-t-il un mode de raisonnement, début d'un développement logique constructiviste capable d'être mis en pratique et matérialisé dans la pierre à partir de blocs de 2,5 tonnes avec les outils, les moyens et les connaissances de l'époque (2700 av. J.-C.) ? La bibliographie est dès lors muette, l'archéologie égyptologique aussi. Nous voici en terrain vierge, sur un axe de recherche théorique qu'il conviendra de confronter de façon continue à la réalité construite.

5.2. Les différents types de pierre

Le deuxième aspect d'une autre approche réside dans les questions posées par les dispositifs intérieurs de la pyramide avec pour modèle la pyramide de Khéops. Et si ceux-ci n'étaient autre chose que les vestiges d'un procédé de construction ?

5.2.1. Les différents types de pierre

On remarque un premier type de pierre, les blocs de calcaire nummulitique, formant le gros oeuvre du volume de la pyramide. Cette pierre est de même caractéristique que celle du plateau de Gizeh, elle pourrait donc provenir des carrières alentour.

« La variété de cette pierre est assez grande puisque sa couleur varie du blanc jaunâtre jusqu'au gris. On en trouve même d'une qualité blanche et assez compacte, qui a pu faire croire à quelques-uns qu'elle était tirée de carrières situées de l'autre côté des rives du Nil. Mais généralement, la pierre recueillie sur la surface du plateau, au grain moins dense, est riche en fossiles ayant la taille et la forme de lentilles (Nummulites dicorbina de La Harpe) ou de pièces de monnaie d'une grandeur de 2 à 5 cm (Nummulites Gizehensis Ehr). Aussi les Bédouins lui ont-ils donné le nom de felous el gaba. Cette ressemblance avec de la monnaie avait fait dire à Strabon que c'étaient là les restes pétrifiés d'aliments et d'argent abandonnés par les ouvriers des pyramides. Mais il ajoute aussitôt que cela lui paraît bien improbable.

Ces blocs assez grossièrement équarris forment le gros oeuvre de la maçonnerie. Ils servent aussi de remplissage dans l'espace intermédiaire entre le revêtement extérieur et celui de la pyramide interne. Derrière les pierres du revêtement parfaitement taillées, les blocs de libage sont placés sans grand ordre, les gros avoisinent les petits. Les interstices sont grossièrement

bourrés d'un mortier très dur formé d'un amalgame de sable, de pierre calcaire pilée, et d'argile, parmi lesquels on trouve des fragments de pierre, de granit et de brique.

On découvre assez souvent des blocs qui portent de profondes encoches ou au contraire des renflements destinés à servir de prise pendant les manœuvres de pose » (Goyon, 1977, p 189)

Le poids moyen de ces blocs calcaires du site est d'environ 2,5 tonnes.

Pour le gros oeuvre et les remplissages, les Egyptiens employèrent donc une pierre nummulitique, parfois assez grossière, de couleur jaunâtre ou grise, qu'ils trouvaient tout près du lieu de son utilisation.

« Attirons l'attention sur une particularité, à notre avis capitale, sans laquelle les pyramides n'auraient jamais pu être construites sous cette forme. Nous voulons parler de la qualité et de la nature du sol sur le plateau de Gizeh. Le banc de pierre qui le constitue offre cette caractéristique, d'ailleurs commune dans tout le territoire qui borde la vallée du Nil, de se présenter sous forme de strates bien horizontales, de hauteurs variables, séparées les unes des autres par une couche d'argile détritique. L'épaisseur de la couche peut varier de vingt centimètres et plus à celle d'un fil imperceptible. Cette caractéristique précieuse permettait, le moment venu en se servant d'un simple levier [pied de biche] de détacher la pierre de son lit de carrière, sans avoir à effectuer un pénible travail en sous-œuvre, comme cela se faisait pour l'extraction en cave. Une autre particularité de ces carrières réside dans le fait que les bancs de pierre se présentent parfois en couches d'une hauteur décroissante. On peut le constater sur les stratifications que présente la statue du Grand Sphinx de Gizeh. » (G. Goyon, 1977)

Le second genre de pierre est celui des blocs de revêtement final de la pyramide en calcaire blanc de Tourah, carrière située de l'autre côté du Nil, comme le prouverait le bloc reliquat (le seul) au pied de la face nord de Khéops.

La pierre de Tourah constitue aussi le revêtement des couloirs intérieurs, de la chambre de la Reine, de la Grande Galerie ainsi que de l'arc en chevron des salles de décharge au-dessus de la chambre du Roi.

Un troisième type est constitué par les blocs de granit de la chambre du Roi et des salles de décharge qui lui sont superposées.

« Celle-ci [la chambre du Roi], entièrement construite en granit rose d'Assouan poli, mesure 10,30 m d'est en ouest et 5,15 m du nord au sud. Sa hauteur est de 5,80 m. Les parois sont constituées, non pas comme une maçonnerie normale, par des pierres liées s'enchevêtrant les unes aux autres, mais par cinq rangées d'énormes travées en granit superposées. Le plafond est pareillement formé de gigantesques poutres juxtaposées. Tous ces blocs merveilleusement polis sont si bien ajustés qu'ils ne laissent voir, en guise de joints, qu'un léger trait à peine perceptible.

Plusieurs blocs de la première assise comportent des vestiges d'un bossage antérieur, preuve que les travaux de finition et de polissage des parois ont été effectués après coup.

Des traces de dislocation dues sans doute à l'énorme pression exercée par le poids de la pyramide sont perceptibles un peu partout. Quelques-unes de ces fissures avaient été rebouchées, ce qui prouve que le tassement s'était effectué au cours même de la construction

du monument.

Le plafond de la grande salle, à la différence de celui de la chambre de la Reine, lequel est en forme de toit, est composé de longues poutres en granit posées à plat. Elles sont disposées selon leur grande portée, c'est-à-dire dans le sens nord-sud. Nous avons pu mesurer l'une d'elles, complètement dégagée. Celle-ci, située entre la troisième et la quatrième chambre (Nelson-Arburmoth), mesure avec son encastrement 5,30 x 1,48 m x 2 m et pèse 40,788 tonnes, ce qui donne, au bas mot, un poids total de 367 tonnes x 5 = 1 835 tonnes qui pesaient sur les murs montants de la chambre du Roi. » (G. Goyon, 1977, p 212).

5.2.2. Techniques de mise en oeuvre

Ces trois types de pierres, dissemblables en qualité, en poids et dans leur utilité, ont sans nul doute exigé des techniques de mise en oeuvre différentes

Les blocs calcaires empruntés au plateau de Gizeh, de deux tonnes et demie en moyenne, formant les 98 % de la masse de la pyramide, sont en fait manipulables avec un engin ou une machine simple : le levier (chadouf). Nous pouvons ici suivre en partie Goyon (1977) :

« Un ingénieur allemand, Louis Croon, refusant tout d'abord la possibilité de l'emploi de rampes perpendiculaires à une face de la pyramide, jugeant que leur édification aurait exigé autant de travail que pour la pyramide elle-même, propose un tout autre système de levage. Ce procédé serait fondé sur le principe du chadouf, employé encore de nos jours par les fellahs égyptiens pour tirer de l'eau. Déjà connu à l'époque pharaonique, cet appareil est constitué comme on le sait, par un levier horizontal mobile, posé à distance inégale sur un poteau fixe. Selon Croon, le bloc devait être fixé à la partie courte du levier tandis que, sur la partie longue, un certain nombre d'hommes faisaient contrepoids, suspendus à des brins de corde. Arrivé à la hauteur de l'assise supérieure, le bloc était glissé sur une épaisseur de madriers. L'opération était répétée de gradin en gradin.

Si on considère le fait mathématique qu'il a fallu, comme nous l'avons déjà dit, mettre journellement en place 355 mètres cubes de pierres, soit en moyenne le même nombre de pierres, pendant une durée d'au moins vingt ans, et que ces appareils devaient être actionnés autant de fois qu'il y avait d'assises ou de gradins, soit quelque deux cent quarante fois [en fait deux cent dix] pour placer un seul bloc parmi ceux du sommet, on peut imaginer le fourmillement d'hommes et d'appareils qu'aurait nécessité un tel procédé [le procédé décrit par Hérodote], sans compter, évidemment, le danger permanent pour les ouvriers de travailler sans protection, suspendus au-dessus du vide. On peut donc considérer ce procédé de levage par suspension inapplicable et inadéquat. » (Goyon, 1977, p 65).

Mais la conclusion de G. Goyon doit être refusée, car trop hâtive, nous y reviendrons.

Les blocs calcaires de Tourah, de revêtement de la pyramide, de taille similaire (peut-être même inférieure) aux blocs du gros œuvre furent mis en place suivant la même technique du levier en commençant du bas vers le haut.

Les blocs de granit de la chambre du Roi et des salles de décharge. Ils posent le problème technique le plus ardu. Citons G. Goyon :

« Comment a-t-on fait pour hisser, véhiculer, manœuvrer ces masses énormes en granit et en pierre calcaire jusqu'à cette hauteur de 64 mètres au-dessus du niveau du sol ? Les seules poutres des chambres pesaient chacune, nous l'avons vu, quelque 40 tonnes, et il y avait au moins quatre-vingt-dix travées !

Les Egyptiens n'avaient apparemment, là non plus, pas de problème de manipulation ni de transport à longue distance, puisque si les grands blocs de couverture de la plus haute salle de décharge provenaient des carrières d'Anou, ceux qui formaient les travées des plafonds et des étages étaient extraits des carrières de Syène (Assouan), situées à près de 800 kilomètres de là. » (G. Goyon, ibid., p. 220.)

Ces quatre-vingt-dix blocs de granit dont la plupart avoisinent les 30 tonnes mais dont certains atteignent même 60 tonnes nécessitent évidemment, à notre avis, un autre dispositif élévateur que l'appareillage par levier des blocs de 2,5 tonnes constituant le gros oeuvre de la pyramide.

En effet, il est difficile de penser élever de telles masses avec un levier. On songe plutôt à un procédé par glissement sur une rampe, technique couramment employée pour le transport des statues colossales.

5.2.3. Les dispositifs intérieurs

L'ensemble du dispositif intérieur couloirs, chambres, Grande Galerie, conduits de ventilation doit être pris en considération dans l'analyse des modes de construction.

En effet, il est impensable que ces « vides » aient été creusés a posteriori dans la masse de la pyramide. On doit donc considérer qu'ils sont inclus, ménagés en cours de construction, et cela d'une façon simple, logique et constructive, à ciel ouvert, en cours de réalisation du gros oeuvre.

5.3. En conclusion

L'erreur, communément commise par toutes les théories de construction connues de la pyramide de Khéops, semble bien être de vouloir tout mettre en oeuvre à partir d'un seul et même procédé. Or, le procédé qui résout la mise en oeuvre des blocs de 2,5 tonnes du massif de gros oeuvre ne peut résoudre la mise en oeuvre des arcs de décharge pouvant peser jusqu'à 60 tonnes et réciproquement.

Est-il impensable d'imaginer deux systèmes distincts et complémentaires permettant de résoudre les problèmes posés par les deux types de blocs :

- Un système de mise en oeuvre permettant d'empiler des blocs de calcaire de 2,5 tonnes de moyenne, avec un levier (des leviers), d'assise en assise, comme le décrit Hérodote.
- Un second système permettant de glisser les arcs de décharge monolithiques en granit de 30 à 60 tonnes, sur une rampe (plusieurs rampes superposées). Ces rampes

pourraient avoir la pente de la Grande Galerie et du couloir ascendant.

On peut alors concevoir que cette rampe ou ces rampes sont induites par le premier système d'empilage, sorte d'excroissance sur l'une des faces de la pyramide (face nord).

Ces rampes sont ensuite ré-incluses (et disparaissent) dans le massif de la pyramide, le couloir ascendant et la Grande Galerie n'étant en fait que le reliquat d'un tel dispositif. Nous verrons par la suite comment pourrait fonctionner ce « vestige » du dispositif.

Or, si l'on trace cette rampe parallèle à la Grande Galerie, à partir du pied de la pyramide, elle aboutit exactement aux derniers blocs en chevrons qui chapeautent les chambres de décharge de la chambre du Roi. Une première confirmation de l'hypothèse est apportée ici.

Dès lors, il n'est plus possible de hisser d'autres monolithes aussi lourds sans envisager une rampe qui dépasserait la base de l'édifice définitif et ne serait donc plus « donnée » par une anticipation de la construction définitive.

Bien évidemment, cette observation fondamentale qui n'a jamais été relevée ne saurait être une simple coïncidence heureuse, puisque effectivement elle nous autorise à considérer une rampe permettant d'acheminer les arcs de décharge à la place qu'ils occupent réellement dans l'édifice et interdit tout autre dispositif de cet ordre à un niveau supérieur.

Hérodote nous décrit très précisément le « système » constructif de la pyramide de Khéops (et de toutes les grandes pyramides de la IV^{ème} dynastie) dès lors que l'on élucide les deux termes de « *bomides* » (autel, socle, piédestal, appui, table : c'est la notion *d'entablement*) et de « *crossai* » (corbeau, créneau formant escalier : c'est la notion *d'encorbellement*) et que l'on comprend¹ à l'analyse de texte, au plus près, que les blocs changeront d'appellation durant l'acte de bâtir.

En fait, tous les blocs seront appelés « *crossai* » quand ils gravissent l'escalier formé par les degrés successifs en créneau, qui deviennent « *bomides* » quand ils sont posés à leur place et servent d'appui aux « *crossai* » suivantes. Il s'agit bien là d'un procédé de construction « systématique » et récurrent, qui, comme tout système, possède sa logique interne et ses propres limites, qu'il convient maintenant de rechercher, développer et vérifier.

1. Dans son courrier à l'auteur en date du 21 Février 1997, J. Ph. Lauer reconnaît : « *A Khéops les dimensions des blocs paraissent, au contraire, extrêmement variables et la disposition d'assises alternées en boutisses et paneresses, que l'on trouve dès les premières pyramides à degrés de Saqqarah et de Meïdoun, n'y apparaît pas aussi clairement. Je me suis d'ailleurs demandé si les bomides et krossai d'Hérodote ne désignaient pas précisément ce système de pose de pierres, qui dérive de la construction en brique crue.* »

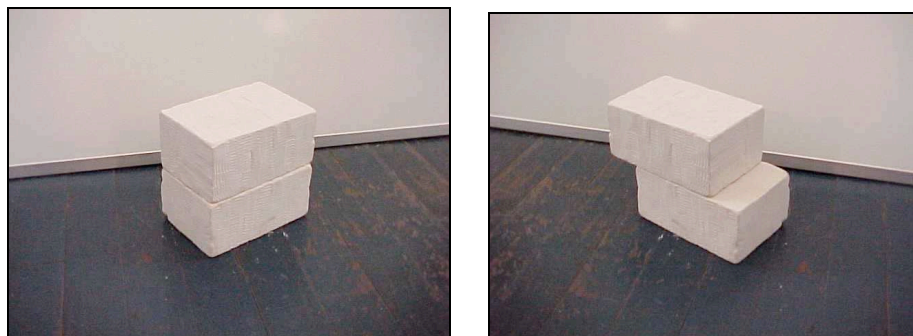


Figure 1. Aucun entablement ni encorbellement (à gauche), entablement devant et encorbellement derrière (à droite)

On peut aussi décrire le procédé comme « un jeu d'entablements » ou « un jeu d'encorbellements », ces deux notions étant réciproques ; mais aussi comme « *un créneau formant escalier* ». En fait, loin de s'opposer ou se contredire, les différentes traductions proposées se complètent.

5.4. Avis aux hellénistes distingués

Une nouvelle traduction a été exécutée le 13 mai 2001 « en aveugle » par Suzanne Amigues, professeur émérite à l'Université de Montpellier III, section de grec ancien dont nous reproduisons ci-après le rapport.

Analyse du texte d'Hérodote, Enquête, II, 125, par Suzannz Amigues

Notons tout de suite que le texte transmis est sain, les manuscrits ne présentant pas d'autres variantes que des détails orthographiques.

Autre remarque liminaire : tous les voyageurs grecs arrivant en Égypte se rendaient directement à Naucratis, « concession » accordée aux Grecs dès le VII^e siècle, où ils étaient assurés de trouver des compatriotes bilingues - ou des Égyptiens hellénisés - disposés à leur servir de guides et d'interprètes. Vu la faible distance de Naucratis à Gizeh, Hérodote a sans aucun doute discuté de la construction des pyramides avec des interlocuteurs qui connaissaient les lieux et avaient réfléchi à ce problème, peut-être même avec des architectes professionnels. La preuve en est dans les deux hypothèses rapportées, sur l'emploi d'autant d'engins de levage que la pyramide avait de degrés ou d'un seul engin transporté d'un palier à l'autre. Il n'y a aucune raison de suspecter son témoignage ni de supposer ses termes techniques inexacts ou approximatifs.

Le passage qui nous intéresse commence par une phrase traduite sous la forme suivante dans l'édition de Ph.-E.Legrand (collection Budé, Les Belles Lettres) :

« *Voici comment fut construite cette pyramide : d'abord une succession de degrés, que certains appellent crossai et d'autres bomides* », avec cette note : « *Dans l'Iliade (XII 258, 444), le mot krovssai paraît désigner des pierres formant saillie. Bwmiv" est un diminutif de bwmov", estrade, socle.* »

La traduction de Barguet est elle aussi plus « littéraire » que vraiment rigoureuse :

« Voici comment on construisit cette pyramide, par le système des gradins successifs que l'on appelle tantôt *crossai*, corbeaux, tantôt *bomides*, plates-formes. »

Pour proposer une traduction littérale, il faut disposer du texte grec, avec la translittération des mots essentiels :

φΕποικηθη δε; ω|δε αυ{τη ηθ πυραμιτω : αφναβαθμωεν τροπων, τα; μετεξεπτεροι κροσσα, οιθ δε; βωμιωδα αφνυμαπουσι.

- Les premiers mots ne font pas difficulté : « La pyramide fut construite de la manière suivante » (*hōde*, adverbe de manière présentatif).

- *tropon* est un accusatif adverbial en fonction de « fausse préposition » : « à la manière de... » ; « par un système de degrés » est donc une apposition explicative à *hōde*. A noter que Barguet ajoute “successifs” qui ne correspond à rien dans le texte.

- *tas* : forme ionienne du pronom relatif, dont l'antécédent est *anabathmōn*. L'accord en genre du relatif *tas* (féminin) est fait non avec l'antécédent *anabathmōn* (masculin), mais avec l'attribut du relatif *krossas* (féminin), suivant un usage syntaxique bien connu.

- *metexéteroi* : « tantôt » (Barguet) est ambigu, « certains » (Legrand) imprécis. Ce pronom indéfini, propre à l'ionien, signifie « certains parmi d'autres », d'où « quelques-uns » (sens donné correctement dans Bailly, avec une explication fautive : « d'autres successivement » : le préfixe *met-* signifie ici « parmi » et non « après, à la suite de », comme l'indique son renforcement par un second préfixe *-ex-* dont le seul sens possible est « parmi, d'entre »). L'idée à retenir est qu'une minorité d'informateurs appelaient ces pierres *krossai*, contre l'usage général qui en faisait des *bōmides*.

- *krossas* : les deux occurrences du terme dans l'*Illiade*, XII, montrent clairement (surtout la seconde) qu'il s'agit de pierres en saillie, de « corbeaux » qui donnent prise à des escaladeurs : quand les Troyens s'attaquent au rempart élevé par les Grecs, « ils cherchent à tirer les corbeaux (*krossas*) des tours » (v.258) ; « ils grimpent sur les corbeaux » (*krossaōn epēbainon*) (v.444).

- *bōmidas* vient de *bōmis*, qui est un hapax, à savoir un mot attesté par un seul exemple dans la littérature grecque conservée. En dépit de son isolement, sa formation est claire : c'est un dérivé de *bōmos*, terme connu dès les premiers textes avec le sens de « plateau, plate-forme », plus tard spécialisé dans une acception religieuse « table d'un autel, autel ». Les dictionnaires usuels (Bailly ; Liddell-Scott-Jones, *Greek-English Lexicon* [Oxford] ; P.Chantraine, *Dictionnaire étymologique de la langue grecque*) font de *bōmis* un diminutif de *bōmos*, ce qui a de quoi surprendre, les blocs formant le gros œuvre de la pyramide ayant des dimensions et un poids bien plus considérables qu'une table d'autel. Il faut donc penser à un autre sens possible pour un dérivé en *-is* : celui d'objet qui ressemble un peu (idée diminutive aboutissant à celle d'approximation) à celui que désigne le terme de base. Ainsi, à partir de *thura* « porte » ont été formés un véritable diminutif, *thurion* « petite porte », et le nom de la « fenêtre » *thuris*, ouverture qui ressemble un peu à une porte et qui est souvent plus petite - mais non nécessairement : il y a de grandes fenêtres et de petites portes ! Le terme de « palier » semble convenir assez bien pour rendre *bōmis*.

Voici donc la traduction proposée pour l'ensemble du passage :

« Cette pyramide fut construite de la manière suivante : par un système de degrés auxquels quelques-uns donnent le nom de corbeaux, les autres celui de paliers. Après l'avoir construite, dans un premier temps, sous cette forme, on éleva les pierres de complément à l'aide d'engins faits de courtes pièces de bois ; on les élevait de terre sur la première assise des degrés ; quand la pierre y avait été montée, elle était placée dans un second engin installé sur la première assise, et de là elle était hissée à la seconde assise et chargée sur un autre engin. Car il y avait évidemment autant d'engins que les degrés comptaient d'assises, ou bien alors c'était un seul et même engin, facile à transporter, que l'on déplaçait d'une assise à l'autre, quand on avait déchargé la pierre : nous devons fournir les deux explications, comme elles nous ont été fournies. Ainsi le sommet de la pyramide fut achevé le premier, puis on acheva la partie attenante au sommet, enfin ce fut la partie située au-dessus du sol et la plus basse qui fut achevée. »

Il est certain que *krossai* et *bômides* sont deux noms correspondant à la même réalité matérielle : les blocs formant le gros œuvre de l'édifice. Le premier terme correspond à une vue plus technique que le second, puisque « quelques-uns » seulement en avaient conservé le souvenir. La même pierre, une fois en place, apparaissait *de l'extérieur* comme un « palier », *de l'intérieur* comme un « corbeau ».

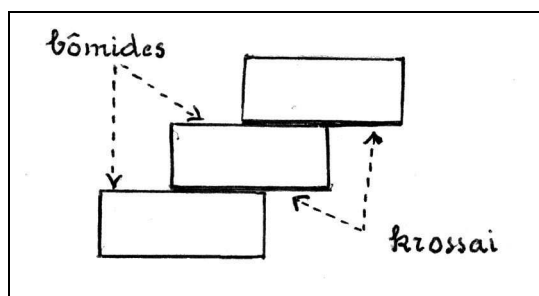


Figure 2. Bômides et krossai

Mais qui surveillait la position du bloc *de l'intérieur* ? L'ingénieur, le contremaître et quelques ouvriers spécialisés, très attentifs à la largeur de l'encorbellement, qui conditionnait la stabilité de l'ensemble, bref des spécialistes, peu nombreux. Inversement, les manœuvres qui hissaient les pierres de degré en degré ne voyaient devant eux que des paliers successifs, comme a dû les voir Hérodote lui-même, depuis le sol, si, comme on peut le supposer, Khéops avait dès son époque perdu une partie de son revêtement.

Une autre question se pose : pourquoi Hérodote décrit-il le système de levage des pierres de complément et non celui des blocs constituant le gros œuvre ? Apparemment parce que c'était le même, ce qu'il ne précise pas, soit qu'il ne s'en soit pas préoccupé, soit plutôt qu'il ait dû se contenter des renseignements recueillis, lacunaires sur ce point. En effet, si la construction du gros œuvre avait été faite au moyen d'une rampe, pourquoi, une fois le sommet de la pyramide atteint, n'aurait-on pas profité de ce plan incliné pour monter les pierres de complément, en l'abaissant peu à peu, à mesure que le parement était achevé. Un changement de technique en cours de travail supposerait un gaspillage de temps et d'efforts tout à fait invraisemblable.

Cet intuition-postulat-raisonnement-procédé, pour être démonstratif et convaincant in fine, devra obligatoirement intégrer toutes les données archéologiques observables in situ, sur le plateau d'assiette et dans la pyramide, et les expliciter d'une façon scientifique, technique et opératoire, dans leur fonction, leur emplacement et leur forme. Ces observations dès lors

explicitées constitueront ainsi autant d'éléments de preuve de la justesse du « postulat », de l'utilisation du procédé dit « d'accroissement pyramidal » développé par l'auteur et des déductions « prédictives » que le raisonnement logique du système permet d'envisager.

6. PRINCIPES CONSTRUCTIFS FONDAMENTAUX

Notre raisonnement procède essentiellement, c'est-à-dire par essence, de comportements de base simples et pratiques, utilitaires. Ces comportements, caractéristiques de l'humanité de ses balbutiements à nos jours, sont pour nous des principes constructifs fondamentaux.

6.1. Utilisation des matériaux disponibles sur place

En effet, pourquoi aller chercher ailleurs des matériaux que l'on peut trouver sur le site, pour autant qu'ils conviennent ? De ce principe découle toute la construction en terre, en pierre, en bois, en rose des sables dans le Souf, en meulière à Paris, en granit en Auvergne, en calcaire en Bourgogne. Toute « l'architecture sans architectes », toute l'architecture vernaculaire procède de ce principe. Il nous semble donc évident que les pyramides ont été construites avec les pierres du site, et en particulier celles de Gizeh avec le calcaire nummulitique du plateau qui les supporte.

Inversement, il nous semble tout aussi évident que pour réaliser un tel massif de pierres, on recherche a priori un site qui puisse fournir les matériaux de construction en quantité et qualité suffisantes.

6.2. L'équilibre des masses

Ce principe constitue le corollaire du précédent. Il consiste à mettre ici ce qu'on a pris là, pour l'usage qu'on compte en faire. C'est de cette façon qu'on réalise une route à flanc de coteau, un canal, une levée de terre, un tumulus ou tertre, les douves des remparts, les caves des maisons par l'équilibre déblai / remblai.

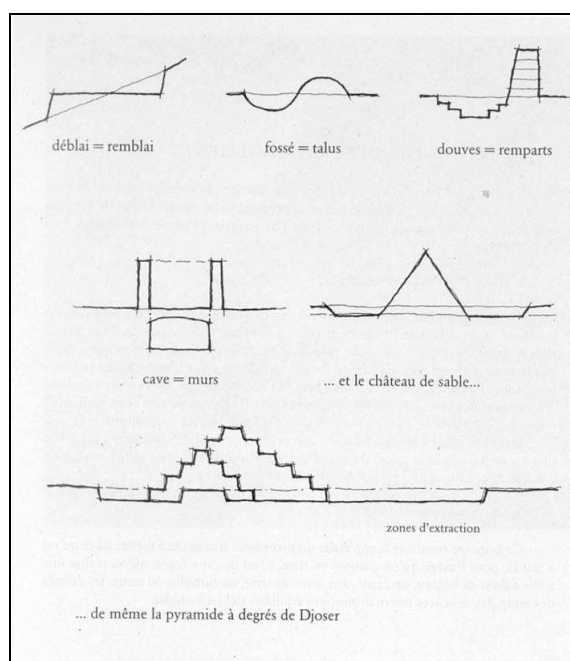


Figure 1. Principe premier du Génie Civil : l'équilibre des masses

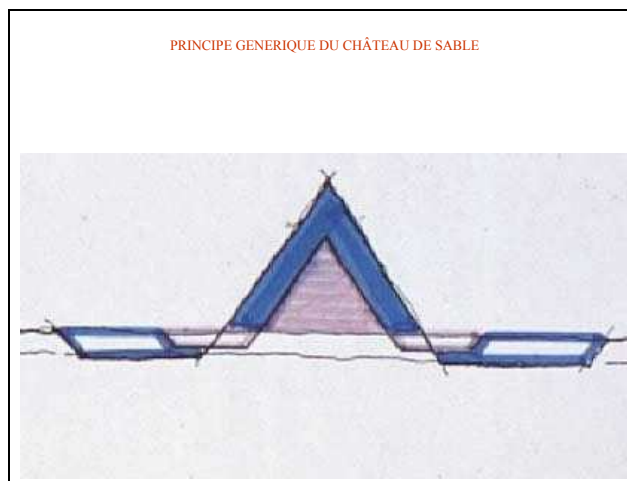


Figure 2. Principe générique du château de sable.



Figure 3. Exemples d'équilibre des masses en Génie Militaire : triple ceinture de « fossés et talus » de Maiden Castle dans le Dorsetshire et Ouvrage en « Motte et lice », à Pleshey dans l'Essex (Angleterre)

6.3. Les performances techniques des matériaux sont spécifiques et limitées

On ne peut pas tout faire avec n'importe quoi. Les qualités de résistance des matériaux sont variées, ainsi que leur technique d'extraction, d'exploitation, de mise en œuvre. D'où les techniques de construction et les architectures différentes suivant les matériaux utilisés. Et d'une façon restrictive pour ne parler que des matériaux pierreux, les ouvrages sont différents s'il s'agit de calcaire ou de granit, et dans le calcaire, s'il s'agit de calcaire plus ou moins compact, stratifié, délité.

Le petit appareillage de l'architecture bourguignonne résulte d'un gisement calcaire délité et

faillé. En effet, on construit avec ce que l'on peut exploiter sur place et on trouve la technique correspondante. Inversement, si le matériau du site ne convient pas à certaines parties de l'ouvrage, on ira chercher le matériau correspondant à l'usage, là où il se trouve, et on le mettra en œuvre suivant sa propre technique.

Nous prendrons pour exemple les bories de Provence ou les trulli des Pouilles en Italie, simples abris construits de pierres sèches plates sur plan carré ou circulaire, les pierres étant appareillées en encorbellement, jusqu'à se rejoindre au sommet, la forme étant dictée par la technique.

6.4. L'économie d'efforts et de moyens

Pourquoi prendre une masse quand un marteau suffit ? Pourquoi faire un échafaudage (ou une rampe) quand on peut s'en passer, en prenant appui sur ce qu'on vient de construire ?

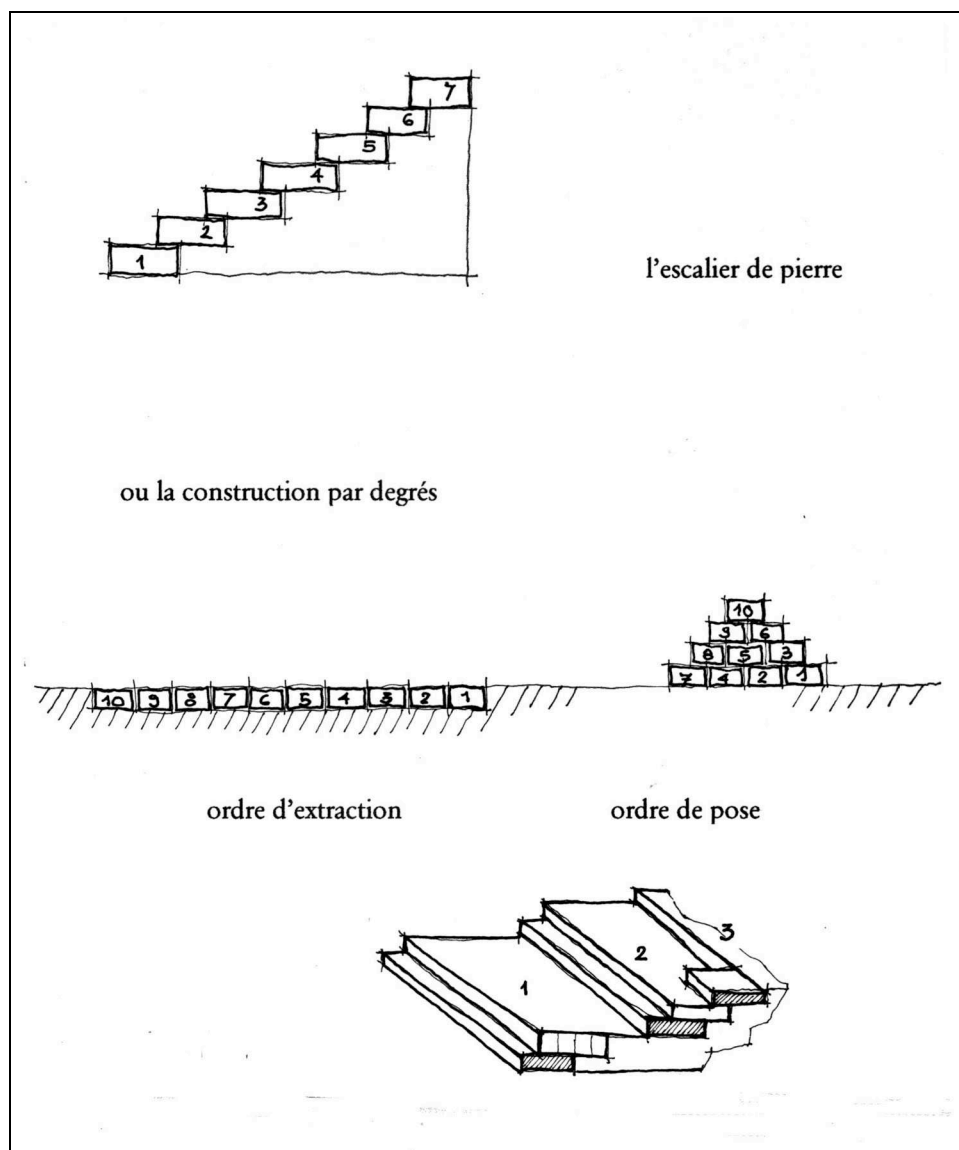


Figure 4. L'escalier de pierre et la construction par degrés d'après A. Choisy (19XX)

6.5. La répétition d'un mouvement élémentaire

Le grand nombre n'est qu'une multiplication, qui elle-même n'est qu'une addition. Cela nécessite la définition d'une opération simple, facile, élémentaire, que l'on reproduit autant de fois que nécessaire, avec patience et détermination. De plus, est-il vraiment besoin de savoir où l'on va pour marcher ? En marchant systématiquement, pour marcher, on est surpris de constater où l'on arrive !

À partir d'un mouvement élémentaire simple, par exemple poser une pierre sur deux autres, on fait un triangle élémentaire. Avec une pierre sur quatre autres au carré, on fait (déjà) une pyramide élémentaire composée de 5 éléments. Symbole premier de tous les tas de charge, de toutes les pyramides.

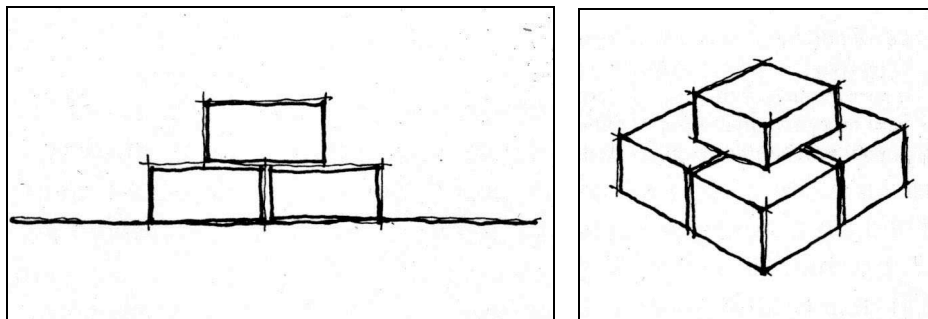


Figure 5. Construire un mur triangulaire (à gauche), construire la pyramide élémentaire (à droite)

6.6. L'outil est propre à l'homme

Prolongement de sa main, fruit et preuve de son intelligence c'est bien là une banalité qu'il n'est pas besoin de démontrer.

Chacun reconnaît aujourd'hui dans les sceptres que tout pharaon porte croisés sur sa poitrine, la crosse du berger et le chasse-mouche ou le fléau, insignes de « pâturage et labourage » hérités de l'époque néolithique. Ces insignes de la puissance des chefs de tribus sont encore aujourd'hui en usage en Afrique.

Le sceptre Ouas de Ptah, dieu créateur dans la mythologie de Memphis, qui émerge des eaux primordiales, sous forme de butte initiale appelée Tatenem (la terre qui émerge) figure le symbole des forgerons et de tous les artisans. Dans l'évolution théologique égyptienne apparaîtra par la suite une divinité composite Ptah-Sokarés-Osiris, combinant la création, la mort et la vie dans l'au-delà. Le sceptre Ouas est à notre avis un outil, à la fois pied de biche en tête et trépan en pied.

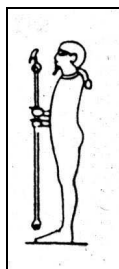


Figure 6. Sceptre Ouas de Ptah, d'ailleurs représenté ci-dessous dans son action de forage, sur la figure « mât de Min »

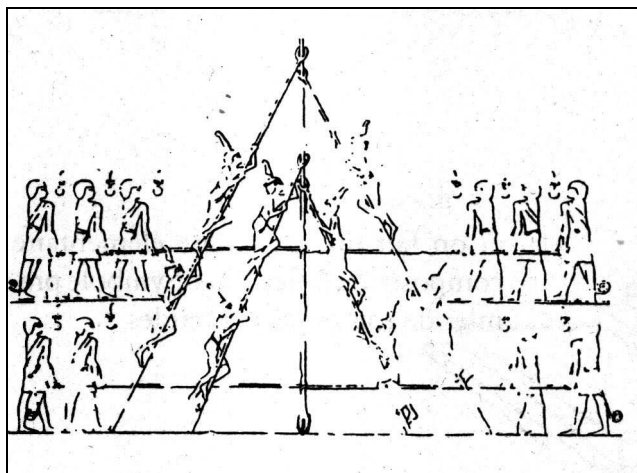


Figure 7. L'érection du « Mât de Min »



Le roi portant la couronne blanche préside à l'érection du « mât de Min » soutenu par quatre piquets fourchus, sur lesquels grimpent huit personnages portant une plume sur la tête, symbole de ce qui s'élève (Schwaller de Lubicz, *Le miracle égyptien*, 1963, p 277)

De même, il est difficile de voir dans le sceptre de la déesse Heh « une branche de palmier », mais bien plutôt une véritable scie pour scier.



Figure 8. Déesse Heh

En fait, nous ferons remarquer que l'ensemble de la théologie égyptienne, de la cosmogonie à la vie quotidienne, est sous-tendue par une vision simple et pratique, utile, « outil » des phénomènes.

On est dès lors en droit de s'interroger sur l'ensemble des symboles qui coiffent les personnages de la mythologie memphite, de la même façon que les hiéroglyphes étaient, au départ de l'écriture égyptienne, avant tout des idéogrammes. N'écrit-on pas « pyramide lisse » “” de façon simple pour ne pas dire simpliste en dessinant directement l'objet ? « Si “” représente une pyramide à degrés, il a dû être choisi comme déterminatif de R parce

que ce type de monument était particulièrement associé à l'idée d'ascension », nous dit Edwards (1981). L'escalier de gradins successifs semble en effet, encore aujourd'hui, le moyen le plus simple de s'élever au-dessus du sol.

6.7. Les nombres, l'arithmétique

Dans *L'histoire universelle des chiffres*, Georges Ifrah (1994) dit :

« Les Egyptiens ont inventé (eux aussi) une écriture et un système de numération écrite. Cela s'est passé aux alentours de 3000 avant notre ère, soit à peu près en même temps qu'en Mésopotamie... La numération écrite égyptienne fut également différente de son homologue sumérienne, non seulement sur le plan graphique, mais aussi du point de vue mathématique : celle-ci fut fondée sur une base rigoureusement décimale, tandis que le système sumérien reposait sur une base sexagésimale (60). »

Le système de numération et l'arithmétique qui en découle, à base décimale, est à l'époque, fondamentalement additif, c'est-à-dire que tout, multiplications, divisions, racines, puissances, est ramené à un système d'additions. Nous verrons que les nombres sacrés, tels que les ont développés Pythagore et l'école pythagoricienne, ne sont en fait que les chiffres triangulaires formés par l'addition cumulée, successive, des nombres naturels : $1 + 2 = 3$, puis $1 + 2 + 3 = 6$, etc.

n	$\sum_{i=1}^n i$	
1	1	1
2	3	1 + 2
3	6	1 + 2 + 3
4	10	1 + 2 + 3 + 4
5	15	1 + 2 + 3 + 4 + 5
6	21	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6
7	28	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7
8	36	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8
9	45	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9
10	55	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10

Tableau des 10 premiers chiffres triangulaires.

Ils les représentaient graphiquement, par points nombres figurés, plans du premier degré du second ordre, de la façon montrée sur la figure 31.

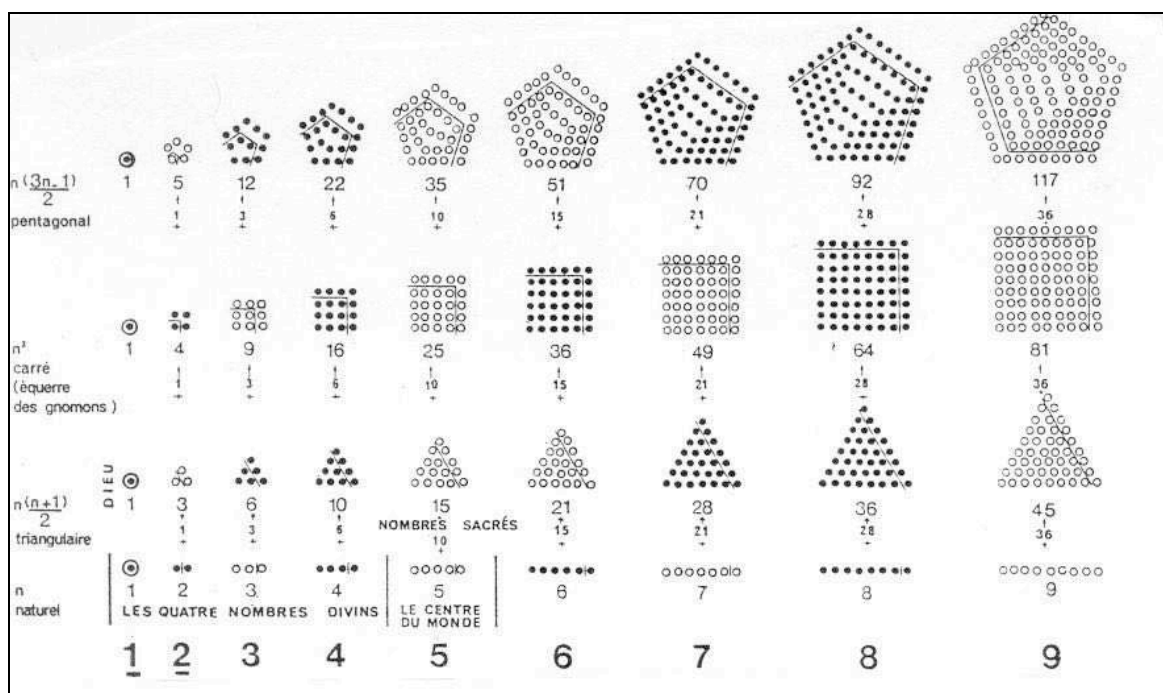


Figure 9. Tableau des nombres « sacrés » de Pythagore

Cette représentation visuelle, extrêmement concrète, nous semble des plus intéressantes, parce qu'imaginée, elle évoque inmanquablement la pyramide théorique ou arithmétisée.

Dans *Une histoire des Mathématiques*, (1986), Dahan-Dalmedico & Peiffer précisent (p 47) :

« Pour le Pythagoricien mystique, la Société des Nombres, se compose de la monade, le nombre un, origine du principe d'identité ; de la dyade, ou nombre deux, premier nombre pair et féminin, origine du principe de non-contradiction, de l'opposition entre le moi et le non-moi ; de la triade, premier nombre impair et masculin, etc., et de la décade qui représente la somme des points contenus dans la Tétraktys et qui fut un symbole ésotérique pour les membres de la confrérie pythagoricienne. »

Mais les chiffres-somme triangulaires peuvent s'écrire de différentes façons comme le montre la figure suivante.

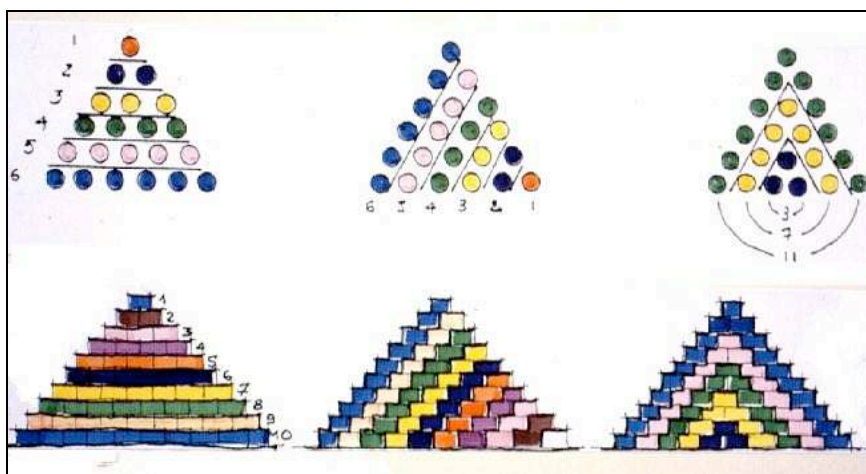


Figure 10. Sommatation par lignes horizontales, par lignes obliques ou par lignes triangles

Citons encore *Une histoire des mathématiques* (Dahan-Dalmedico & Peiffer, 1986), p 73-75-76) :

« Parler d'algèbre égyptienne est sans doute beaucoup plus impropre encore que d'évoquer l'algèbre babylonienne. Parmi la centaine de problèmes contenus dans les papyrus Rhind et de Moscou vers 1700 av. J.-C., nombreux sont ceux qui proviennent de la vie quotidienne et concernent la répartition de miches de pains, de grains ou d'animaux. Ils sont en général résolus par l'arithmétique seule ou par l'utilisation d'équations linéaires de type :

$$x + a x = b$$

ou $x + a x + c x = b$ »

« Toute la difficulté réside, pour les Egyptiens, dans le choix des unités de mesure et de leurs subdivisions. En effet, outre la fraction 2/3, les Egyptiens ne calculent que sur les quantités ou fractions du numérateur 1. Généralement, la solution de telles équations utilise la méthode de fausse position. Ainsi, par exemple "Quand le scribe te dit : 10 est les 2/3 et le 1/10 de quoi ?" La mise en équation conduit à : $(2/3)x + (1/10)x = 10$

Si l'on prend 30, les 2/3 font 20, le 1/10 fait 3 et le total 23. Or comme on veut 10, par quoi faut-il multiplier 23, pour avoir 10 ? Cette méthode de fausse position se trouve aussi très nettement en évidence chez les Chinois. Elle sera répandue en Occident par les Arabes sous le nom d'al-khatayn, "la chinoise".

Seuls quelques types simples d'équations quadratiques sont résolus comme $a x^2 = b$. Les rares cas où apparaissent deux inconnues comme dans le système $x^2 + y^2 = a$ et $y = b x$ conduisent, après élimination de l'inconnue y , au même type d'équation.

Quelques symboles rudimentaires sont présents dans le Papyrus Ahmes : l'addition et la soustraction sont représentées par une paire de jambes dans deux positions différentes et un autre signe est utilisé pour noter la racine carrée ; l'inconnue est désignée par *aha*.

Mais l'algèbre des Egyptiens est très limitée, plutôt réduite à un processus purement arithmétique. Elle s'applique souvent à des problèmes concernant la géométrie et à l'établissement des formules de mesure nécessaires pour calculer l'aire de figure planes et certains volumes. »

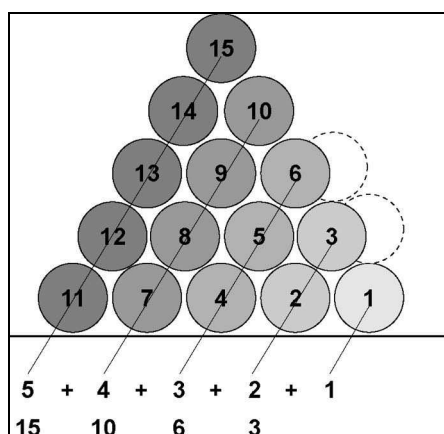


Figure 11. Sommations triangulaire Pythagoricienne (à l'image d'une pile de bois)

Par la suite, l'algèbre géométrique euclidienne, les arithmétiques de Diophante, les mathématiques arabes (Al-Khwarizmi et la naissance de l'*al-jabr*, Abu Kamil, l'école d'Al-Karagi), les algébristes-arithméticiens, Al-Salaw'al... accélèrent et diversifient le développement mathématique, au point que nous ignorons complètement aujourd'hui les fondements pratiques, utilitaires et simples de l'addition élémentaire égyptienne, à la fois physique, géométrique et arithmétique confondues, dont nous avons perdu la connaissance et les correspondances.

L'écriture visuelle des nombres ne sera reprise qu'à la période classique par Newton et spécialement par Pascal dans ses analyses de la notion infinitésimale. En effet, s'il fait progresser les conceptions de base de ce calcul, il n'a guère recours au symbolisme algébrique, mais demeure attaché au langage géométrique.

« La notion d'indivisible, à la base du calcul infinitésimal, avait donné lieu à maintes discussions souvent stériles, mais elle avait été utilisée de façon renouvelée par Cavalieri qui avait montré qu'elle offrait une méthode générale pour la sommation des surfaces et des volumes, méthode supérieure à celle d'exhaustion des Anciens. Pascal débarrasse cette notion des obscurités et de la "métaphysique" dont elle était encore chargée; il use notamment du passage à la limite de façon systématique, ayant soin d'en justifier la légitimité, ce dont on n'avait guère eu le souci avant lui. » (Encyclopædia Universalis, 1975).

Nous voici bien proches de nos calculs pyramidaux : en effet la somme des carrés des nombres entiers (voir tableau ci-après) nous donne le nombre de blocs (carrés) d'une pyramide régulière de base carrée (figure 34). Mais quelle est la *méthode d'exhaustion des Anciens* ? Aurait-elle quelque chose à voir avec notre croquis de la construction par degrés, et notre pyramide élémentaire ?

n	$\sum_{i=1}^n i$	n^2	$\sum_{i=1}^n i^2$
1	1	1	1
2	3	4	5
3	6	9	14
4	10	16	30
5	15	25	55
6	21	36	91
7	28	49	140
8	36	64	204
9	45	81	285
10	55	100	385
...

Tableau des sommes des entiers et des sommes des carrés des entiers

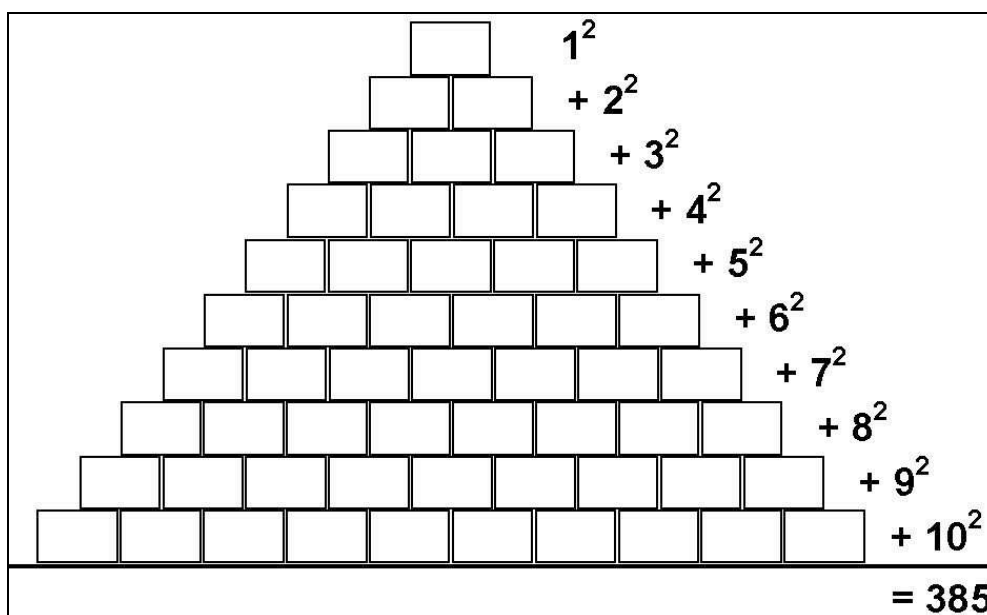


Figure 12. Le nombre de blocs d'une pyramide est égal à la somme carrés de entiers de la taille considérée

Citons enfin Théophile Obenga (1990, p 350) :

« Les mathématiques sont liées à des besoins de la vie pratique, dès leur apparition dans les civilisations de l'Antiquité. La science, dans ces temps reculés, devait se révéler valable dans l'action. C'était une façon de penser les choses, qui permettait de les manipuler pour des fins définies. En somme une science qui produise des techniques pour le développement de la société. La bonne méthode consistait donc à comprendre la nature pour agir techniquement sur elle. "Comprendre" la nature n'est pas donner une explication verbale aux phénomènes, mais agir consciemment, en connaissance de cause, pour parvenir à un but désiré.

Dans cette période ancienne de l'histoire, la pensée scientifique égyptienne ne séparait pas les sciences des techniques. La pensée maîtresse contenue dans le titre du papyrus Rhind est que la science mathématique doit être engagée dans le contrôle méthodique, opérationnel, du milieu physique environnant, tout en demeurant une manière technique d'expliquer les choses.

La méthode (tp-hsb) importe beaucoup. Elle impose des règles (tp-hsb), qui sont l'ensemble des règles de méthode (tp-hsb) pour connaître (rh) la nature (ht), en tous ses aspects et phénomènes visibles et invisibles "cachés" (st3).

Aussi, lorsqu'on affirme la nécessité d'une méthode que l'esprit doit suivre dans la recherche (n b3 m ht), il est présomptueux de dire qu'il s'agit là d'un manque de conception générale. C'est au contraire faire preuve d'un esprit hautement scientifique que de se donner une méthode exacte dans l'investigation de la nature.

Mais dans l'Egypte ancienne, théorie et pratique ne sont pas séparées arbitrairement. Nous avons à faire à une pensée holistique, systématique, globale et totale. »

6.8. L'homme est parfois conscient de la brièveté de la vie, mais surtout de l'éternité de la mort

Sans tomber dans la philosophie ou la théologie, il n'en est pas moins vrai que l'homme prend conscience de son existence en même temps que de sa mort. Le culte des morts crémation, mise en terre ou tertres et les rites funéraires en sont la preuve depuis le début de l'humanité. Aujourd'hui encore, dans certaines religions et dans les pays désertiques, le corps du défunt est simplement posé à même le sol et recouvert de terre, de sable ou de rocaïlle, dont le but est bien d'une part de le dissimuler à la vue des vivants, d'autre part de le protéger des charognards et prédateurs, afin d'en assurer la pérennité dans l'au-delà.

Hyènes et vautours sont bien les premiers ennemis du défunt, au point que la tradition égyptienne primitive, au sortir de l'animisme, dans la crainte qu'ils inspirent, en fit de véritables divinités régnant sur le royaume des morts. Citons Fustel de Coulanges qui pensait, peut-être avec raison, que la théologie était née du spectacle de la mort : « *La mort fut le premier mystère. Elle mit l'homme sur la voie des autres mystères. Elle éleva sa pensée du visible à l'invisible, du passager à l'éternel, de l'humain au divin.* » Et de fait, il est presque impossible, dans beaucoup de civilisations antiques, de distinguer la pensée proprement dite de l'idée religieuse. Elles sont intimement mêlées.

Dès lors, peut-on aller jusqu'à penser que la masse du tertre était fonction de l'importance du défunt et de l'attachement que lui conservaient les vivants ? Pourquoi pas ? Et dans le cas où le pharaon décide lui-même de réaliser de son vivant sa sépulture, rien n'interdit de penser, la puissance et la vanité aidant, qu'il aura cherché à faire réaliser le tertre le plus grand, le plus parfait, le plus secret, à l'image qu'il a de lui-même, et qu'il aura réussi à imposer à ses sujets pour les mettre au travail. Il aura ainsi défié le temps et imposé son souvenir aux générations suivantes, pour des siècles et des siècles...

De ce point de vue, il faut bien reconnaître que Khéops a réussi sa gageure, et que sa pyramide, par son volume, sa résistance, sa conception, son mystère, continue de nous rappeler, depuis bientôt cinq mille ans, la grandeur de son maître d'ouvrage, si ce n'est la qualité de son maître d'œuvre ! Du tumulus au mastaba, du mastaba à la pyramide à degrés, de la pyramide à degrés à la pyramide lisse et parfaite, l'évolution semble logique, d'un point de vue théologique mais aussi constructif, en accompagnement de l'évolution de l'outillage, de l'appareillage, des techniques de construction.

Après Khéops et les 2 600 000 m³ de pierre de la Grande Pyramide, paroxysme de puissance et vanité étalée, que reste-t-il à ses successeurs ? Montrer qu'on est capable d'en faire autant pour Khéphren, montrer qu'on sait encore faire pour Mykérinos, en plus petit, par manque de temps, de motivation ou de puissance ?

Ensuite, que reste-t-il à démontrer, va-t-on continuer la course au gigantisme ? Au nom de quel intérêt ? La grande aventure constructive des pyramides des III^e et IV^e dynasties touche à sa fin. L'intérêt se porte dès lors plus sur le complexe et les temples funéraires que sur la pyramide elle-même, à Abousir, au cours des V^e et VI^e dynasties. Les pyramides se miniaturisent alors, privatisées et démocratisées à Deir el Medineh, sous les XIX^e et XX^e dynasties, avant de réapparaître sous forme de tombes pyramidales à Meroé au Soudan, petites et très élancées.

6.9. « Je ne pense que ce qui est réalisable »...

... dit Paul Valéry dans *Eupalinos ou l'Architecte*. Encore faut-il le réaliser ! Quand, où,

comment ? Si la forme de pensée de l'architecte-ingénieur est avant tout projection, elle est indissociable de la réalité concrète, de la matière, de la connaissance technique acquise et de la mise en oeuvre. Il s'agit bien d'une pensée synthétique, où l'innovation et la performance technique sont des éléments moteurs, à partir d'un substrat de connaissances héritées des prédécesseurs, et ce à toute époque de l'histoire des techniques, de la construction et de l'architecture.

Mais cette pensée n'a de consistance qu'au travers de la réalisation de l'ouvrage, à la fois matière, support et objet de la pensée. Réaliser n'est pas un rêve mais un acte, un engagement qui distingue très vite le réalisable de l'irréalisable dans un contexte donné.

Pour en revenir à notre objet et à la matérialité des contraintes physiques, le constructeur de la pyramide de Khéops, hormis les moyens de son maître d'ouvrage (notoriété, puissance, volonté), se devait de maîtriser sa technique (novatrice), et d'assumer la responsabilité de sa mise en œuvre : choix d'un site capable de supporter l'édifice, de fournir les matériaux nécessaires, technique d'extraction et de manipulation des blocs, méthode d'édification, organisation et direction du travail. Toutes ces contraintes physiques étant indissociables.

6.9.1. Le site

De fait, les grandes pyramides de pierre sont construites sur le plateau calcaire Libyque à l'ouest du Nil, aucune ne se trouve dans la zone alluvionnaire qui, d'une part, ne supporterait pas le poinçonnement et, d'autre part, ne saurait fournir les matériaux nécessaires, ni sur le plateau arabique, à l'est, réservé aux vivants (?).

La pierre à bâtir des pyramides est homogène, compacte, facile à tailler (ou scier). G. Goyon suggère même un mode d'exploitation de ces blocs par tranchées creusées à la main, de la largeur de l'ouvrier (1 coudée), sur la base d'un tracé régulier en damier.

Ce tracé expliquerait la laisse de carrière du pied nord de Khephren, que nous rapprocherons de la photographie du sol, prise par Maragioglio et Rinaldi (1965) du haut de Mykérinos, à l'angle nord-ouest qui révèle bel et bien un quadrillage de tranchées dissimulées sous le sable. Le déblaiement de cette zone nous semble de première importance.

En effet, pourquoi aller chercher ailleurs et loin un matériau que l'on peut extraire et exploiter sur place? Comme le pense G. Goyon, la mise en oeuvre des blocs exploités directement d'une carrière sur le site même, d'une part, est économe en efforts de transport, d'autre part, explique logiquement les variations de hauteur des assises de Khéops. Les blocs ainsi extraits de la carrière par strates, par simple décollage de la *tafla* (mince couche d'argile entre les bancs de calcaire) seraient alors mis en œuvre tels quels en pyramide, sur le site même. L'examen des hauteurs des assises de Khéops devrait pouvoir nous éclairer, car le cas échéant, il serait logique d'observer des répétitions d'assises (ce qui est le cas).

Au plan purement théorique, il semble concevable d'envisager un système d'exploitation de carrière à proximité qui correspondrait à un système d'empilage en pyramide à côté (ou au centre ?).

En effet, la provenance des matériaux de construction de la pyramide n'a jamais été réellement étudiée et toutes les possibilités ont été proposées. Là encore, il faut ordonner le

raisonnement suivant les provenances possibles si l'on refuse la solution proposée par Joseph Davidovits¹

Nous proposerons donc trois types de provenance :

- A. Provenance éloignée du site de Gizeh.
- B. Provenance rapprochée (plateau).
- C. Provenance immédiate (alentours de la pyramide).

A. Les matériaux proviennent de carrières plus ou moins éloignées du site, et sont acheminées à pied d'œuvre en empruntant la chaussée monumentale construite préalablement qui monte du temple bas (port sur le canal latéral au Nil, cote 16,5 mètres) jusqu'à la plate-forme-teménos (ou péribole) réalisée sur le plateau de Gizeh pour asseoir la pyramide, soit 43,5 mètres plus haut (cote 60 mètres). Si comme l'écrit Hérodote, les blocs de calcaire proviennent bien de carrières éloignées, on imagine aisément la somme d'efforts nécessaires à leur acheminement :

« Les uns durent, depuis les carrières de la chaîne arabique, traîner jusqu'au Nil les blocs de pierre qu'on en tirait, d'autres eurent la tâche de recevoir ces pierres, passées en barque sur l'autre rive, et de les traîner jusqu'à la montagne qu'on appelle chaîne libyque. Cent mille hommes travaillaient à la fois, relevés tous les trois mois. Il fallut d'abord dix années de ce labeur écrasant pour construire la chaussée par laquelle ils traînaient les pierres chaussée qui représente à mon avis un travail presque aussi considérable que la pyramide, car elle est longue de cinq stades, large de dix orgyies... » (Hérodote)

Dans ce cas, la construction consiste à empiler, sur une plate-forme réalisée préalablement sur le plateau (en léger dévers vers le sud-est), l'ensemble des blocs acheminés par la chaussée monumentale qui prend alors toute sa justification pratique de rampe d'approvisionnement en matériaux. Lors de la réalisation de la plate-forme, on aura pu économiser des efforts en préservant en son centre un massif plus ou moins important, ce qui semble être le cas.

B. Les matériaux proviennent de carrières rapprochées situées sur le plateau de Gizeh lui-même. Cette solution économiserait alors beaucoup d'efforts. C'est la solution retenue par G. Goyon, Kérisel, Stadelmann et Petrie, qui suggère plusieurs carrières proches expliquant les différents rythmes d'assises.

On pourrait dès lors rechercher, sur le plateau de Gizeh, les traces d'exploitation de ces carrières. Dans ce cas, la chaussée monumentale perdrait beaucoup de son utilité pratique, sauf pour l'acheminement du parement final, qui était constitué, selon diverses sources, de calcaire blanc de Tourah, carrière située dans la chaîne arabique.

1. Joseph Davidovits, Professeur et directeur de l'Institut des sciences archéologiques appliquées, Barry University, Miami. Selon lui, « le calcaire des pierres des grandes pyramides d'Egypte serait un béton polymère vieux de 4600 ans » et les « machines faites de courtes pièces de bois » d'Hérodote, les coffrages de ces blocs de béton polymère.

C. Les matériaux sont empruntés alentour de la pyramide, au pourtour immédiat, par l'exploitation périphérique du plateau de Gizeh lui-même, suivant les bancs de pierre correspondant aux strates du plateau calcaire.

Ce système, théoriquement imaginable, fera l'objet d'une hypothèse développée par la suite, et constitue un chapitre important de notre recherche. Elle ne contredit en rien le système d'accrétion-exhaussement mis en évidence. Dans ce cas, la chambre de la Reine pourrait se trouver sur le sol naturel du plateau préexistant (tel que le suggère Stadelmann). Ce dernier aurait été exploité systématiquement, de plus en plus largement et profondément selon le principe du château de sable jusqu'au niveau du téménos actuel, faisant correspondre une exploitation systématique récurrente du plateau alentour avec un empilage systématique récurrent de la pyramide au centre, par équilibre des volumes et du nombre des blocs, en un jeu méthodique et réglé. Mais peut-on accrédi-ter pareille hypothèse ? Nous proposerons les vérifications nécessaires à son contrôle.

Dans les propositions A et B, la chambre de la Reine se trouve sur un sol construit à un certain stade de l'édification de la pyramide, à une hauteur déterminée, voulue. Mais alors, pourquoi ?

6.9.2. Technique de manipulation

On le sait, la taille moyenne des blocs constituant le massif de gros œuvre pèse environ 2,5 tonnes, qu'on peut manipuler à l'aide d'un levier, assez long et assez résistant en bois de cèdre du Liban capable de lever un bloc pour le poser sur deux autres, en fait la course d'exhaussement n'est que d'une assise à chaque fois. Mais une fois qu'on a élevé un bloc sur deux autres, ou sur quatre autres (pyramidion élémentaire), la pyramide est loin d'être finie, et le problème reste entier, impressionnant, immense à l'échelle de Khéops. Encore faut-il trouver le procédé, la méthode, le système !

6.10. Le recours à la modélisation

Puisqu'il ne saurait être question pour nous de tenter de manipuler des blocs de 2,5 tonnes sur le plateau de Gizeh et que le problème nous semble, avant tout, celui de la recherche du procédé système que nous pressentons intuitivement, nous allons recourir à la modélisation, à la maquette en chambre, en respectant la règle constructive fondamentale, qui est de ne monter qu'une marche d'escalier à la fois, avec des blocs miniatures normalisés tels que billes, sucres carrés ou rectangles, briques de terre cuite.

Ce jeu d'enfant nous aura intrigué et passionné, si riche en découvertes et en développements, en questionnements aussi. Contient-il la solution ? Ce que l'on recherche et découvre pose aussitôt de nouvelles questions.

Première question : comment l'architecte de l'époque a-t-il pu concevoir un tel système et l'exploiter avec tant de gigantisme ? La réponse se trouve peut-être dans notre propre démarche : en faisant une modélisation, avec des briques de terre crue par exemple.

Néanmoins, il nous semble aujourd'hui évident que l'architecte de Khéops a hérité d'un savoir-faire de la part de l'architecte de Dahchour Nord (Pyramide Rouge) qui lui est antérieur. En effet, cette dernière, comme Khéops, Khéphren et Mykérinos, utilise déjà une technique de gros appareil à assises horizontales. Par contre, Khéops innove dans ses aménagements intérieurs (couloirs, chambres, Grande Galerie): on s'est permis de hisser quatre-vingt-dix fois 40 tonnes de granit d'Assouan à quarante-trois mètres et plus du sol extérieur de la pyramide, ceci après avoir acheminé les monolithes de granit depuis Assouan jusqu'à son temple bas (port) par bateau, et les avoir ensuite halés, traînés le long de la chaussée menant sur le plateau, au pied de la pyramide, ce qui représente un dénivelé de quarante et un mètres.

A notre avis, c'est bien pour ses dispositifs intérieurs que la pyramide de Khéops fut l'une des sept merveilles du monde antique (elle le reste d'ailleurs pour le monde contemporain), mais c'est à cause d'eux aussi que la confusion des méthodes constructives s'est introduite dans l'esprit des observateurs. Et c'est encore par eux que Khéops doit nous révéler son mystère constructif.

En effet, comme nous l'avons déjà écrit, un tel dispositif ne peut être conçu qu'en concordance avec le système constructif; il convient donc de le considérer comme révélateur de ce système, voire comme vestige, et en l'occurrence comme preuve.

6.11. Le système d'exhaussement

Résumons brièvement les deux conceptions existantes par les schémas de la figure suivante.

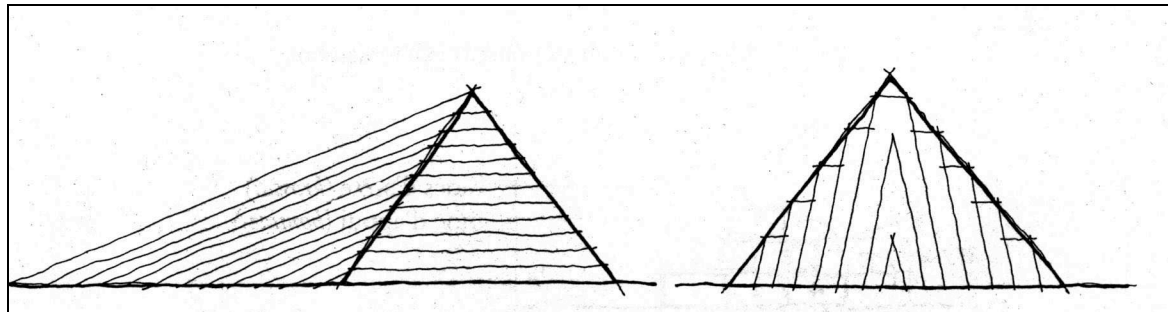


Figure 13. La rampe de Lauer (à gauche) et l'accrétion de Lepsius (à droite)

Si le système d'accrétion proposé par Lepsius correspond bien aux vestiges des pyramides à degrés, la reprise et l'exploitation qu'en a faite Borchardt pour Khéops, en développant trois projets successifs (1932), cherchant à expliquer la présence des trois chambres, auront été très préjudiciables à la compréhension. En attirant l'attention sur sa théorie des trois projets successifs de chambres, il occulte complètement le problème d'adaptation du système Lepsius à la réalité des assises horizontales de Khéops, Khéphren et Mykérinos (problème qui se pose déjà depuis Snefrou avec la Pyramide Rouge à Dahchour Nord). Le système Lepsius impose des murs constitués d'assises déversées vers l'intérieur, murs appliqués les uns contre les autres, constitués de pierres aisément manipulables. Or, cette technique de déversement ne correspond pas au problème posé par la pyramide de Khéops, qui est d'appareiller des gros blocs de 2,5 tonnes en assises horizontales, à l'aide d'un engin de bois.

Comment donc élever un bloc de calcaire de 2,5 tonnes en moyenne, d'une assise à l'autre, soit d'une hauteur moyenne de 0,70 m, par une translation de 0,55 m, de la façon la plus

simple et la plus pratique, par une manœuvre élémentaire qui, répétée autant de fois que nécessaire, systématiquement, et de façon récurrente, permettrait de construire les différentes couches de *krossai* (blocs d'arête) s'appuyant sur la couche précédente devenue *bomides* (bloc d'appui) comme le rappelle la figure suivante ?

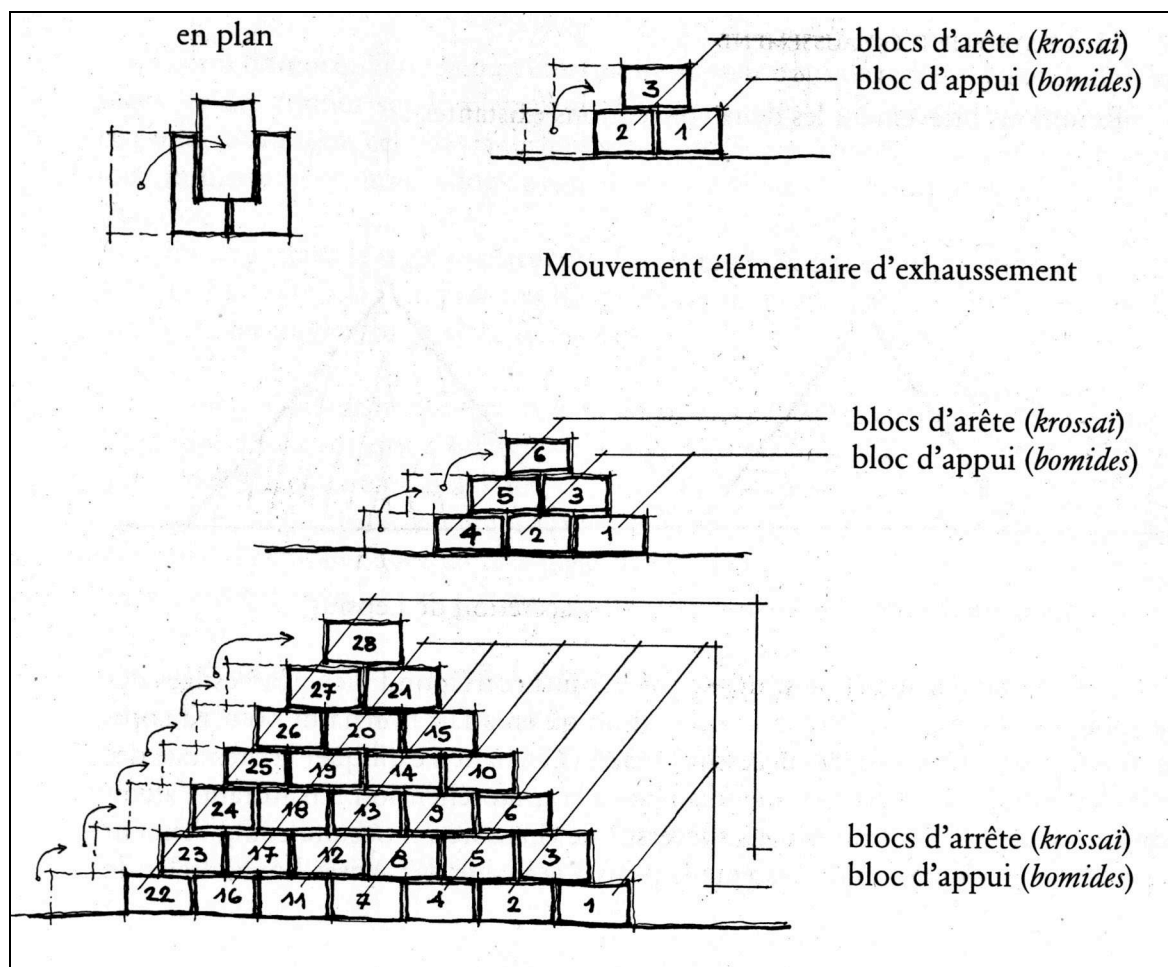


Figure 14. Les « crossai » grimpent l'arête en escalier et deviennent « bomides » une fois à leur place. A l'aide d'un simple levier à trépied de rapport 1 pour 3, prenant appui sur la rangée inférieure

Pour réaliser un tel mouvement et comme l'illustre la figure suivante, la force de traction (F) nécessaire est donc de $2,7 t / 3 = 0,9 t$, appliquée en B à l'aide d'une corde (à nœuds) tirée par autant d'ouvriers que nécessaire, soit 30 ouvriers tirant chacun 30 kg, rangés en ligne, à plat ou sur les gradins réalisés précédemment.

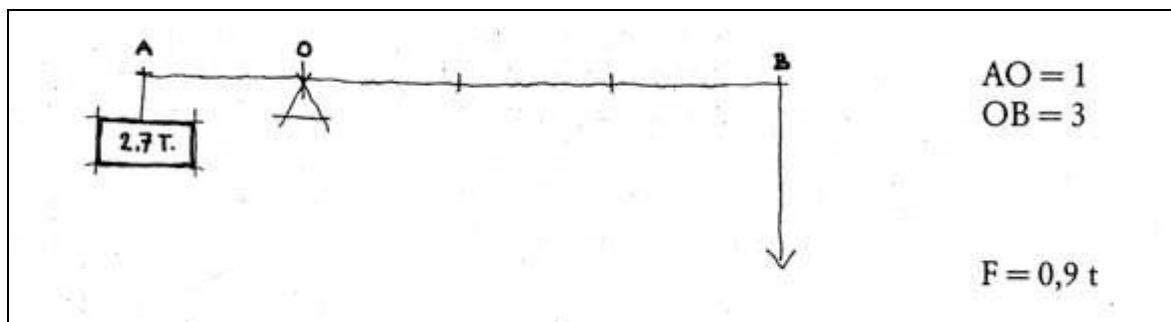


Figure 15. La machine d'Hérodote : un levier sur un trépied ?

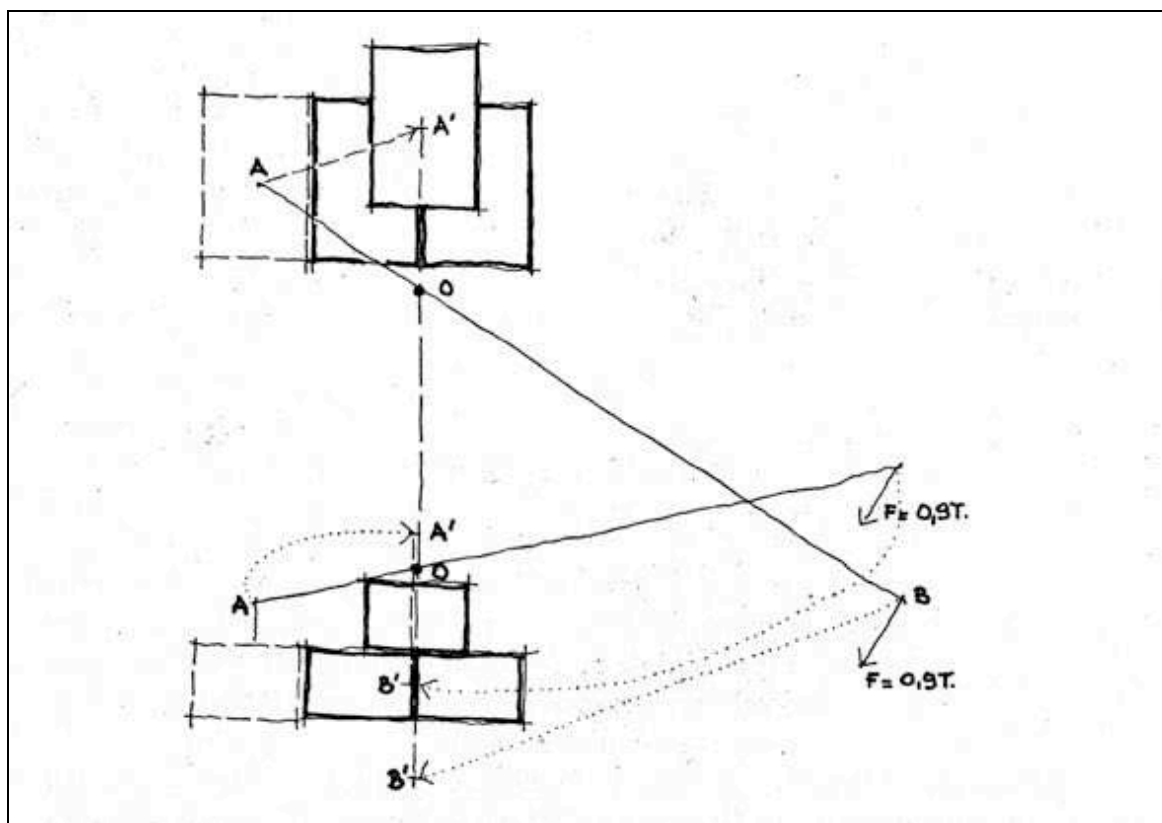


Figure 16. Mouvement ou manœuvre élémentaire du levier, répété à l'infini

La longueur du levier en bois de cèdre sera d'environ 5,5 m et sa section circulaire aura un diamètre de 20 cm (poutre mani-portable).

« *Donnez-moi un point d'appui et je soulèverai le monde* » dira par la suite Archimède (Syracuse, 287 av. J.-C.). Outil simple permettant de soulever et de déplacer des objets pondéreux, mais comportant surtout l'extrême avantage d'inverser les mouvements et de multiplier les forces, le levier autorise, en appliquant la force humaine de haut en bas, sur le grand bras du levier, un mouvement de bas en haut de la charge appliquée au petit bras. Il permet simultanément un déplacement latéral inversé, de l'arrière vers l'avant pour une traction de l'avant vers l'arrière.

Il n'en faut pas plus pour poser un bloc de 2,5 t sur deux autres, avec un levier de bois de

cèdre de 5,5 m de long et dont la section a un diamètre de 0,20 m (au maximum des moments de flexion), s'appuyant sur un point d'appui composé d'un trépied de bois « *machine faite de courtes pièces de bois que l'on déplace ou que l'on multiplie* », disait Hérodote.

Cet outil simple et nécessaire pour l'exhaussement des blocs, les ouvriers se situant grâce à l'inversion des mouvements sur la partie inférieure déjà construite des gradins, est aussi suffisant.

En fait, il constitue bien l'outil le mieux adapté à l'opération élémentaire demandée, le plus facile à déplacer de gradin en gradin, le plus pratique à utiliser, le plus économique à fabriquer. Cependant, il comporte ses propres limites et impose la multiplication du mouvement (déplacement) élémentaire c'est-à-dire l'addition, qui ne saurait varier. Au point qu'il est « l'essence même » de la construction de la pyramide. Il produit en effet le mouvement élémentaire (un bloc sur deux autres) qui, multiplié, permet de construire les faces de la pyramide, par blocs d'arête (*krossai*) en exhaussement sur des blocs d'appui (*bomides*), faces-enveloppes qui, par accrétions successives, constituent, à l'image des pelures d'oignon, le massif de la pyramide par le système « d'accrétion-exhaussement » des blocs.

Ce système « *génère* » la pyramide, au point de penser que la forme (pyramidale) est la conséquence du système (de levage) et non l'inverse. En fait, avec ce système consistant à poser un bloc sur deux autres, on ne peut faire, on ne peut engendrer, générer, que des pyramides.

L'analogie avec l'écriture des nombres sacrés de Pythagore ne nous semble pas du tout fortuite. Peut-être la pyramide de Khéops « symbolise-t-elle » ou plutôt « contient-elle », au-delà de la performance matérielle et de l'expression de puissance, une arithmétique additionnelle révélée dans sa construction ou plutôt engendrée par sa construction, offrant à l'humanité et à la postérité la preuve irréfutable du niveau des connaissances sous l'Ancien Empire ?

Dès lors, on est loin du principe de la « *montée mystique de l'âme du roi par escalier* », argumentaire de G. Goyon pour réfuter la théorie de Lepsius, à moins qu'on ne considère le levier comme l'âme de la construction pyramidale, ce qui nous semble être l'évidence !

Il eût été préférable, d'ailleurs, pour les auteurs et les défenseurs des théories « rampistes », toutes catégories confondues, que la montée mystique de l'âme du pharaon se soit faite par « rampe » et non par « escalier ».

7. LE PROCEDE D'ACCROISSEMENT PYRAMIDAL.

A partir des considérations développées précédemment, et grâce à l'interaction de la modélisation et de la réflexion-intuition, il est pensable, possible et réalisable, de développer, de concrétiser et de montrer, voire démontrer une méthode, un procédé, une façon de faire et retrouver un « savoir-faire » qui fabrique de la pyramide, rien que de la pyramide.

7.1. Modélisations

La Construction, l'Ingénierie et l'Architecture, comme tous domaines de la création physique, matérielle et concrète, ne saurait faire l'économie de la modélisation, des modèles successifs qui servent de support à la réflexion - expérimentation - visualisation. Ces modèles, dès lors qu'ils approchent, appréhendent et résolvent une majorité des problèmes posés, peuvent alors devenir le véritable support d'un raisonnement scientifique, technique et opératoire, voire même un véritable acteur ou moteur de recherche, dans la mesure où il relève d'une systémique. Ils deviennent alors interactifs et prédictifs.

La recherche du mode constructif des Grandes Pyramides lisses à assises horizontales irrégulières, observables archéologiquement, reposait, pour nous, sur la volonté de mise en œuvre à différentes échelles, en maquette, comme sur un savoir-faire professionnel et de pratique ouvrière.

La construction d'un mur en pierre peut se faire sous divers appareils, mais le principe des joints croisés (en rupture de joint) est une règle première qui permet de donner plus de cohésion à l'ouvrage. Il s'agit donc de poser une pierre sur deux autres. Ce type d'appareillage est observable sur les Grandes Pyramides, cependant il sera nécessaire de l'adapter à la dimension des blocs « cyclopéens » (c'est à dire impossible d'être soulevés de main d'hommes), à l'utilisation quasi directe des blocs tirés des strates du plateau (en carrière horizontale à ciel ouvert) et au mode ascensionnel fourni par la manœuvre de la « *machine faite de courtes pièces de bois* » (un trépied sur lequel manœuvrer un bras de levier). Ce type d'appareillage qui impose de réaliser à la demande une assise horizontale de pose à chaque bloc « *crossai* » (en arasant les blocs d'appui « *bomides* »), sera appelé « appareillage horizontal à décrochement », appareillage jugé comme le plus économe en travail par Auguste Choisy.

De cette règle simple procède la construction d'une pile de bois, celle du Gnomon triangulaire, puis celle du tas de charge et de la construction par degrés.



Figure 1. La pile de bois : modèle statique de base (photo Crozat)

En fait, ce « mode de faire la pile de bois », l'empilage par ordre d'équilibre et de statique élémentaire est plus riche qu'on ne le pense ; la succession des additions de rondins forme un système répétitif et récurrent ; de sa transcription en blocs de pierre, il en découle une méthode de construction par degrés ou en « créneau formant escalier », pour autant que l'on dispose de la « machine » capable d'élever un bloc et de le poser sur les deux autres, à l'assise supérieure. Le mouvement élémentaire d'ascension constitue un « algorithme » qui développe une récurrence que l'on pourra modéliser, matériellement à la main ou virtuellement par informatique, et dans ce dernier cas offrir en plus une vision cinétique tridimensionnelle de la construction.

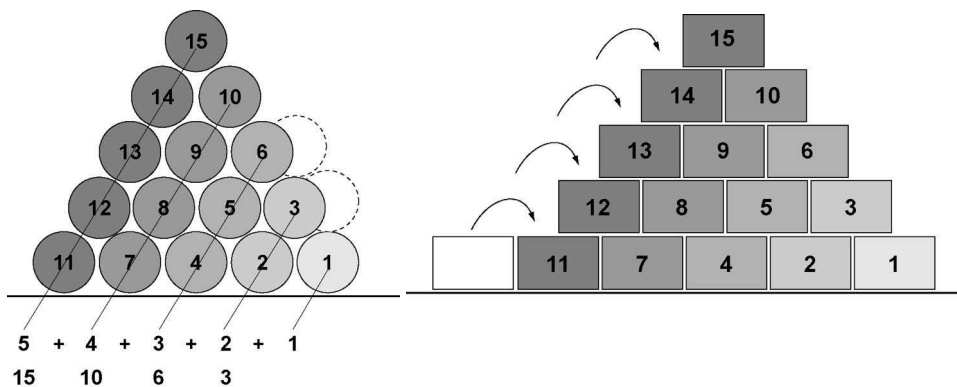


Figure 2. Le « mode de faire la pile de bois » (nombres Pythagoriciens) et sa transcription avec des blocs

De la même façon qu'il est loisible de faire une pile de bois avec des bûches de tailles variées, un mur de maçonnerie avec des parpaings tout-venant, des pyramides de fruits avec des figues, des oranges ou tout autres éléments, il est possible de faire une pyramide avec des blocs variables qui n'ont pas besoin d'être « faits au moule », ceci grâce à la qualité de la pierre calcaire facile à entaillée permettant l'adaptation d'appareil horizontal à décrochement.

Bien évidemment, la modélisation avec des sucres en morceau ou des briques industrielles est trop parfaite, mais les éléments n'ont pas besoin et surtout pas l'échelle pour nécessiter ce type d'appareillage des blocs « cyclopéens ».

Néanmoins, à condition de connaître les implications du changement d'échelle entre une maquette d'étude et la réalité à construire, le modèle physique proposé garde toute son utilité, il est le support référant à la recherche par la manipulation et découverte expérimentale, il se révélera interactif et prédictif.

7.2. L'algorithme

Ainsi se développe un « système constructif » récurrent purement additionnel, répétitif du mouvement élémentaire consistant à élever et poser en « encorbellement » un bloc « *crossai* » sur deux autres « *bomides* » servant d'appui, laissant un « entablement » par-devant, sur lequel reposer la « *machine* », un trépied sur lequel appliquer et manœuvrer un bras de levier. Ce mouvement élévatoire élémentaire simple sera répété, additionné, de degré en degré, au fur et à mesure de la construction. C'est l'acte générique, celui qui « génère » la construction-même, cette « *machine* » en est donc le « Génie ».

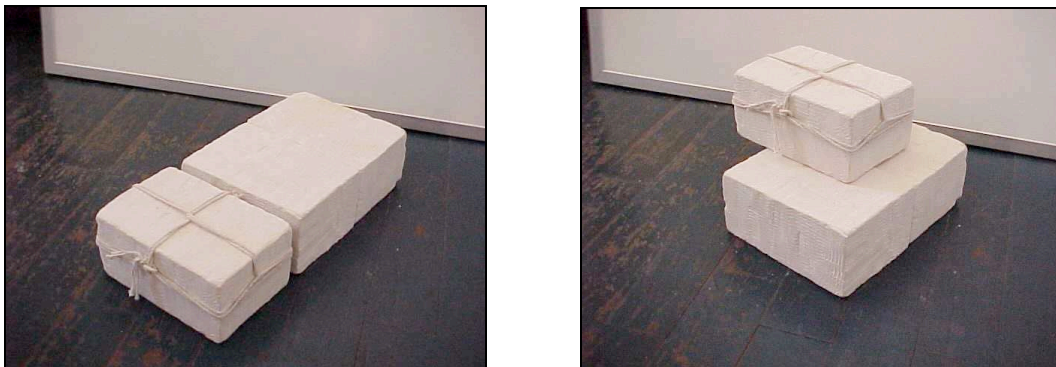


Figure 3. Le mouvement élévatoire élémentaire constitue un algorithme (photo Crozat)

Ce « mouvement récurrent » $(n - 1)$, (n) , $(n + 1)$, où l'on prend appui sur le bloc précédent $(n - 1)$ pour élever le suivant en $(n + 1)$ en le posant sur (n) , correspond exactement à la description d'Hérodote. Il est le principe premier de l'empilement, à l'image du mode de construction d'une pile de bois, par escalier, basé sur la statique que nous impose la loi de la Gravité. Cette pile de bois ou de blocs « cyclopéens » sera donc toujours de forme triangulaire, dès le troisième élément mis en place par le premier mouvement élémentaire d'élévation qu'illustre le schéma de la figure suivante.

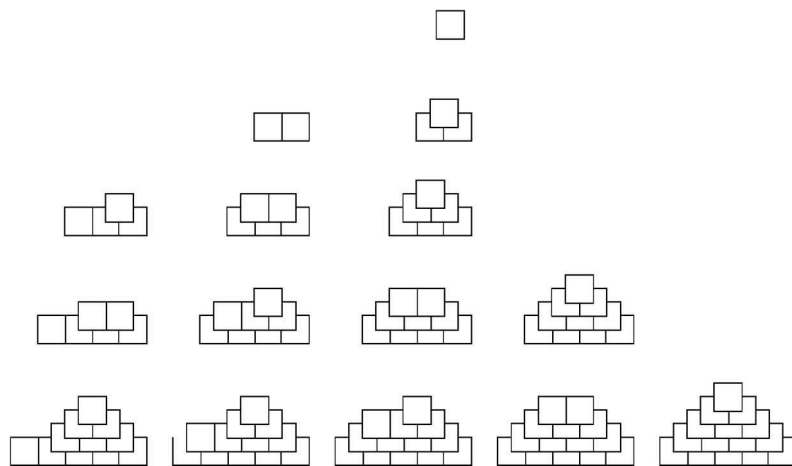


Figure 4. Appliquer l'algorithme, par additions successives, sur une face

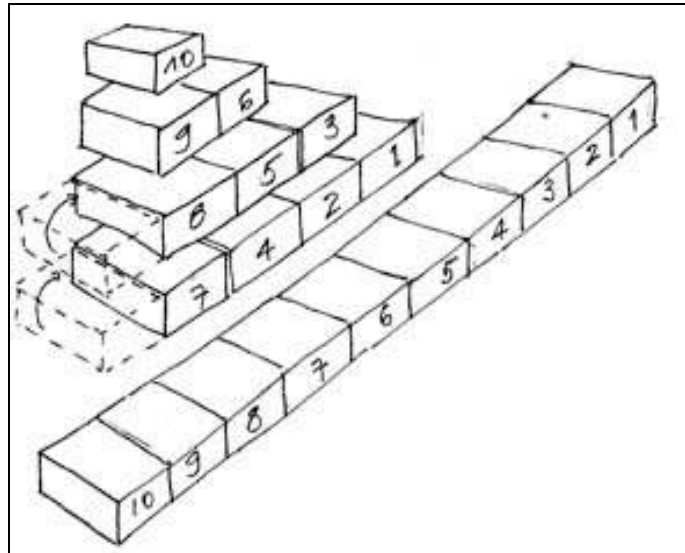


Figure 5. En perspective, l'application du mouvement élémentaire nécessite des « encorbellements » à l'intérieur pour avoir des « entablements » à l'extérieur. Les encorbellements ne sont plus visibles, il ne sont connus que des constructeurs. Les observateurs ne verront que les entablements !

7.3. Les séries arithmétiques figurées de Pythagore

Dans l'abstraction mathématique, moins fatigante que la mise en œuvre réelle, ainsi que dans la modélisation à échelle réduite, ce « processus de suite arithmétique additionnelle d'éléments entiers », première sommation des nombres naturels, trouvera sa représentation dans les « nombres-sacrés de Pythagore », c'est à dire dans la série (Couchoud, 1993) des nombres-sommes ou figurés (dit triangulaires) appelés ensuite par les Modernes, et aujourd'hui encore : « la série des nombres figurés plans du premier degré du second ordre », ce qui ne suggère plus grand-chose !

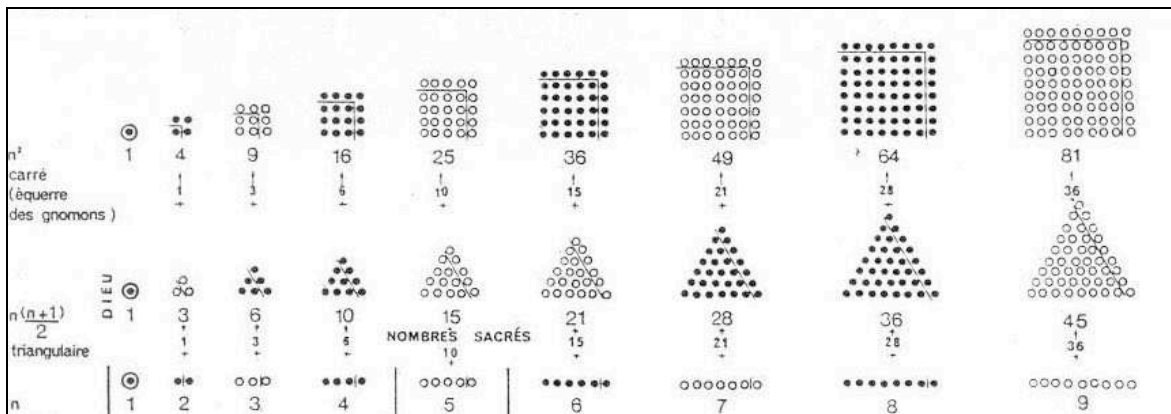


Figure 6. Deux séries pythagoriciennes intéressantes pour le sujet : sommation des nombres impairs (en haut : carré de base) et sommation des nombres entiers (en bas : triangle d'élévation)

Différentes séries arithmétiques sont intéressantes pour le sujet présent :

- la sommation des nombres entiers, qui forme la série des nombres « triangulaires » telle que la donne Pythagore (lecture diagonale) et qui représente une face de la pyramide :

$$1 + 2 + 3 + 4 + \dots + n = \sum_{i=1}^n i$$

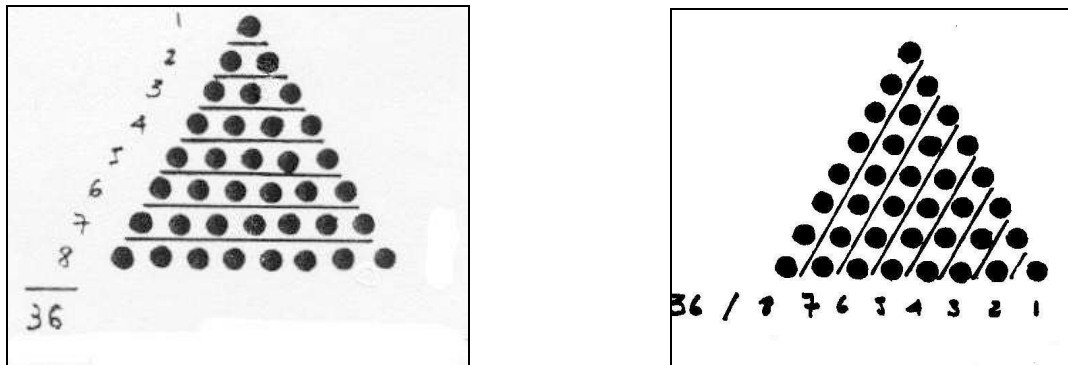


Figure 7. La lecture ne doit pas être horizontale (à gauche) mais diagonale ascendante (à droite)

- la sommation des nombres impairs qui forme la série des « carrés » des nombres entiers, par addition des « équerres des gnomons » et qui représente la plan au sol de la pyramide :

$$1 + 3 + 5 + \dots + n = \sum_{i=0}^n (2i + 1)$$

- la sommation des nombres carrés qui nous donne la série des nombres « pyramidaux » et qui correspond au nombre de modules unitaires que contient une pyramide de base carrée n :

$$1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2 = \sum_{i=1}^n i^2$$

La formule mésopotamienne, datée de l'Empire de Nabuchodonosor, retrouvée sur une tablette cunéiforme déposée au Musée du Louvre (découverte par O. Neugebauer), et généralisable sous la forme suivante :

$$\sum_{i=1}^n i^2 = \left[1 \times (1/3) + n \times (2/3) \right] \times \sum_{i=1}^n i = \text{Nombre de blocs}$$

qui se transformera facilement en :

$$V = S \times (H / 3)$$

si $(n + 1) = n$, soit la formule du calcul du volume d'une pyramide, ce qui est déjà une forme d'intégrale des cônes¹, celle de l'architecte, suffisante pour construire une pyramide.

1. A. Dahan-Dalmedico & J. Peiffer (1986) : « ... l'arithmétique, va trouver au XVIIème siècle une vigueur et une actualité quelque peu perdue depuis Diophante et les algébristes arabes du Moyen Age », l'étude des nombres figurés fut reprise par d'illustres mathématiciens, Pascal, Fermat, Newton, Leibniz, qui en déduirent les bases des Théories mathématiques contemporaines. Blaise Pascal développera l'intégrale des coniques par la sommation et le passage à la limite, des puissances carrées des nombres entiers.

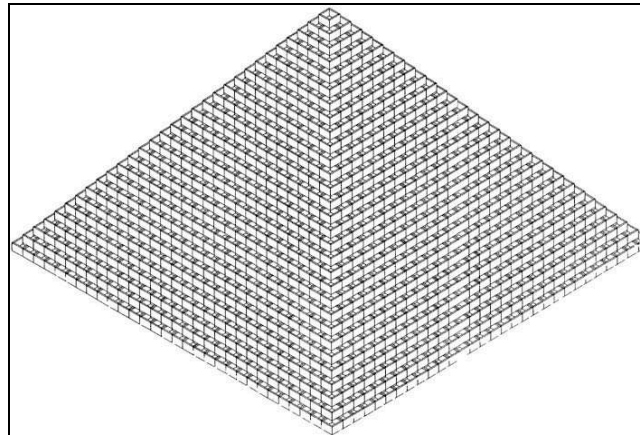


Figure 8. En application de la formule babylonienne : 9455 : nombre de blocs d'une pyramide de base 30

Mais qu'est ce Pythagore entend par « équerre de Gnomon » ? Si nous suivons le mode opératoire d'empilage des rondins de bois ou sa transcription en blocs de pierre, quelque soit leur taille, pour autant qu'on sache les faire monter d'une marche d'escalier, nous avons là un mode de grossissement – élévation de la pile de bois, de forme triangulaire. Si nous appliquons le même regard sur la série des nombres impairs générant les carrés successifs, nous avons là le mode d'agrandissement d'une surface au sol, en plan, par équerres successives de gnomon (comme indiqué sur les schémas ci-après). Si nous combinons les deux séries, plan et élévation (mode vision combinée qui fait la spécificité de l'architecte) nous avons alors le mode de génération de la série des gnomons, à savoir une première approche du mode de grossissement d'un tas pyramidal, un ordonnancement méthodique et statique de construction d'une pyramide, en fait la série des nombres pyramidaux figurés qui démontre « l'accroissement pyramidal ».

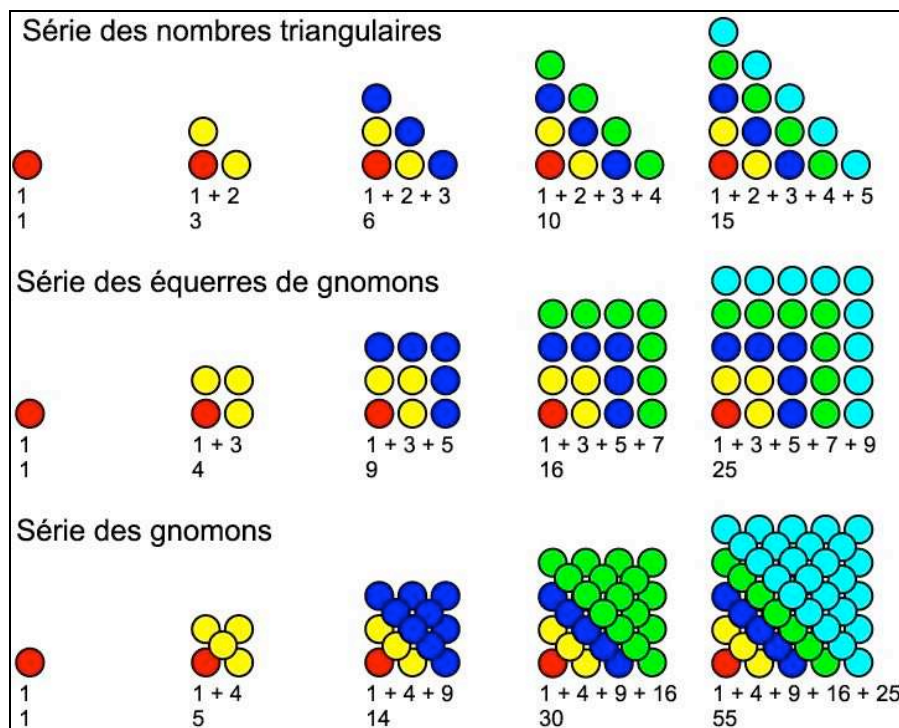


Figure 9. Tableau des accroissements triangulaires, des équerres de gnomons et des gnomons

Cependant, nous devons trouver le procédé permettant d'intervenir, de construire sur les quatre faces de la pyramide, à partir de la pyramide la plus élémentaire, la plus petite que l'on puisse faire, c'est-à-dire composée de cinq éléments ($4 + 1$). Pour Pythagore, le nombre 5 était le « centre du monde », il sera ici le centre de la pyramide.

7.4. Le mode opératoire

Concernant la méthode opératoire, il suffira de faire la même opération d'addition récurrente sur les quatre faces, de façon co-ordonnée, pour générer une pyramide à base carrée, par enveloppes successives superposées, à l'image des pelures d'oignons.

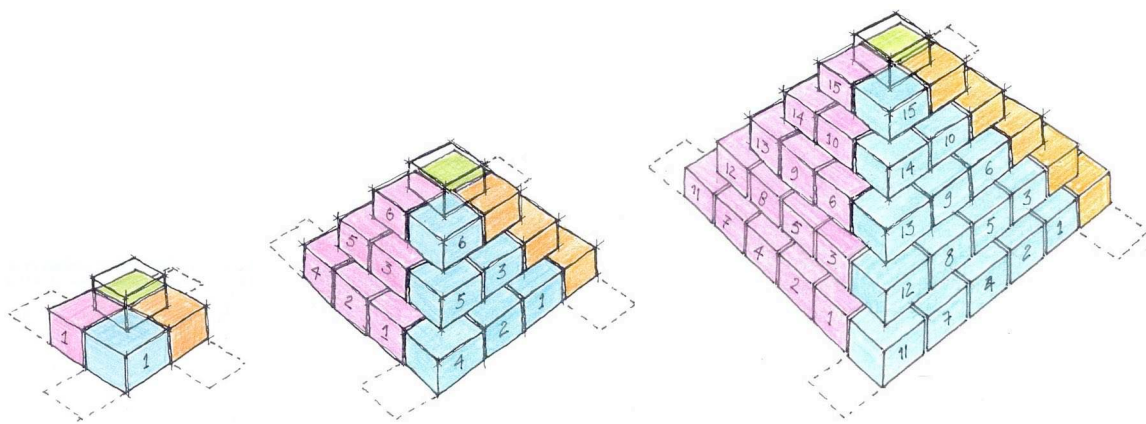


Figure 10. La méthode opératoire sur les 4 faces

Dans la modélisation manuelle et infographique réalisée a posteriori, ce mouvement répétitif et récurrent constitue « un algorithme » mathématique, qui ne génère que de la pyramide.

Du développement de ce « système » constructif, grâce à l'expérimentation – réflexion – visualisation que permet la modélisation, découle d'une façon naturelle et logique, « en corollaire », la possibilité de réaliser un « jeu » de couloirs et de chambres, à l'image des dispositifs intérieurs de Khéops. Il suffira pour ce faire de ne pas mettre de blocs suivant telle ou telle systématique, pour générer ici un couloir horizontal, ascendant ou descendant, là une voûte ou une chambre, sous la seule règle de la statique de l'encorbellement et/ou du tas de charge.

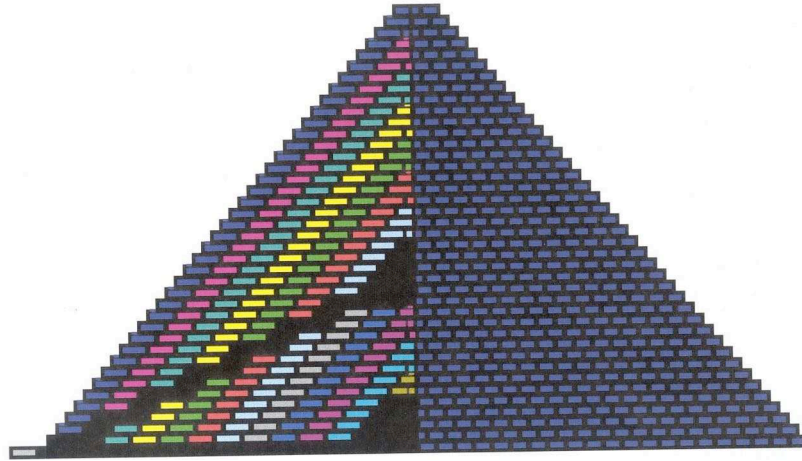


Figure 11. Simulation informatique partielle des dispositifs intérieurs de la pyramide de Khéops

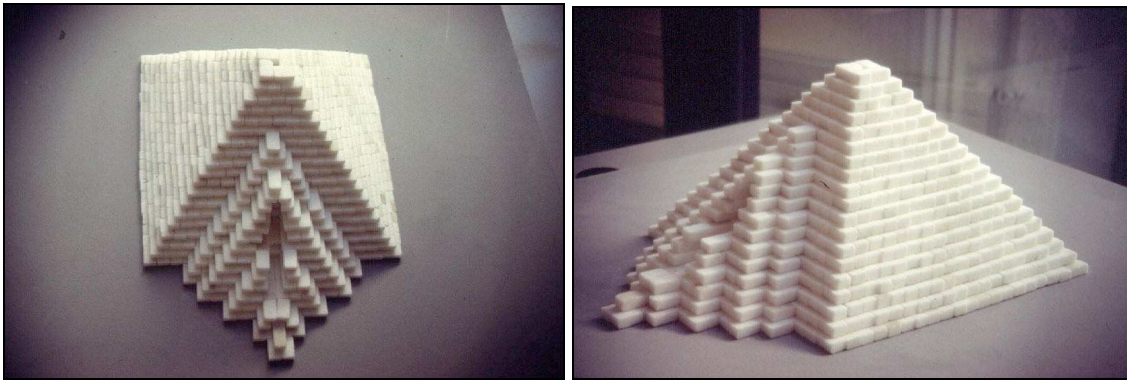


Figure 12. Mis en pratique avec des sucres, l'algorithme permet, sans difficulté, de créer des vides intérieurs (photos Crozat)

Ce procédé permettra également de modéliser la construction de la Pyramide rhomboïdale à l'image de celle de Dashour attribuée à Snéfrou, stade intermédiaire, dit-on, entre les pyramides à degrés et les pyramides lisses (Edwards, 1981) et aussi, de réaliser les deux systèmes de descenderies sur la face nord et la face ouest - que contient cette pyramide rhomboïdale !

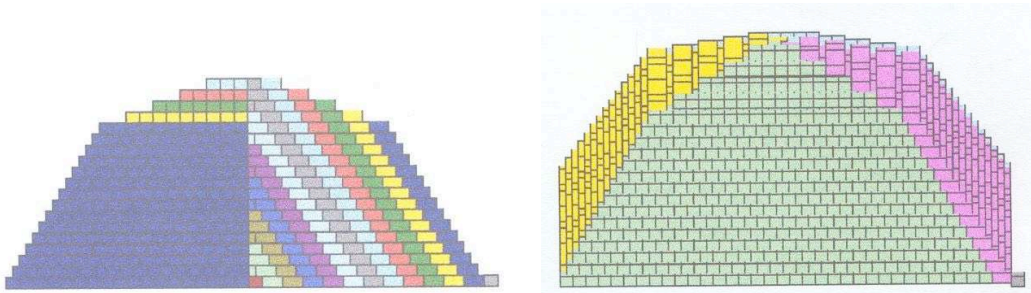


Figure 13. Simulation informatique d'une pyramide rhomboïdale obtenue en ne mettant pas certains blocs à partir d'une certaine altitude.

Bien évidemment « modélisation n'est pas réalisation » et les morceaux de sucre ou les modules « info-graphiques » employés qui sont « obligatoirement identiques » ne pèsent rien face aux vrais blocs de la pyramide (de 2,5 tonnes en moyenne). Néanmoins on ne peut refuser ce mode d'abstraction utile à la compréhension, à l'intelligibilité du système constructif. En effet, et nous verrons plus tard pour quelle raison, les blocs ne sont pas tous identiques, dans leurs dimensions, comme ceux du modèle, mais plutôt que d'y voir aussitôt la remise en cause¹ du principe et de l'apport de la modélisation, il serait plus judicieux de s'interroger sur les conséquences de ces variations dimensionnelles sur « l'appareillage des blocs ».

7.5. La façon de commencer le tas

La difficulté aura consisté un temps à trouver le départ de la construction, sur les quatre faces identiques et en même temps.

Si la pyramide a quatre faces, il y aura quatre blocs au sommet (un pour chaque face), en appliquant la règle de rupture de joint (joints croisés), l'assise inférieure ($n - 1$) aura quatre fois deux blocs, et la troisième ($n - 2$) aura quatre fois trois blocs.

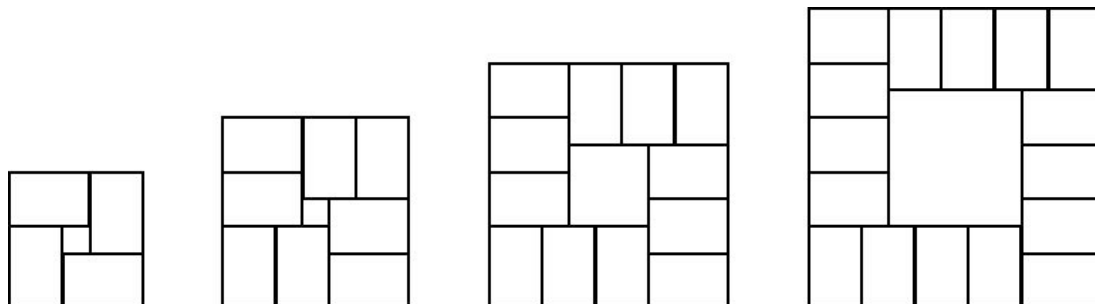


Figure 14. Les quatre derniers niveaux d'une pyramide régulière

Il suffira de mettre les trois premiers les uns sur les autres, par ordre décroissant, et se rendre compte que le premier peut s'inclure dans le quatrième (figure suivante)

1. Cette critique a été portée par J.P Adam, elle obligera à répondre d'une façon positive et argumentée, jusque dans le détail de l'appareillage des blocs de la pyramide et du mode d'extraction des blocs en carrière !

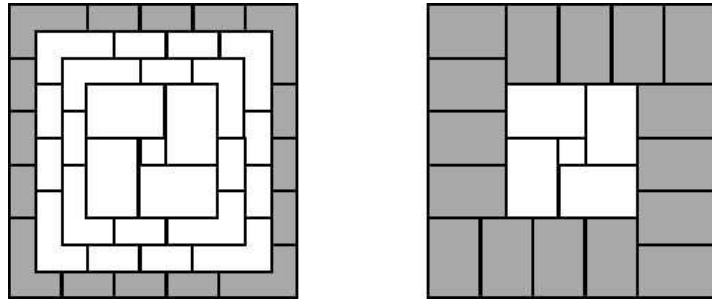


Figure 15. Superposition des quatre derniers niveaux (à gauche). Le premier s'inscrit dans le quatrième (à droite)

On procédera ensuite systématiquement sur les quatre faces en ajoutant des blocs, les uns après les autres, par escalier (figure suivante).

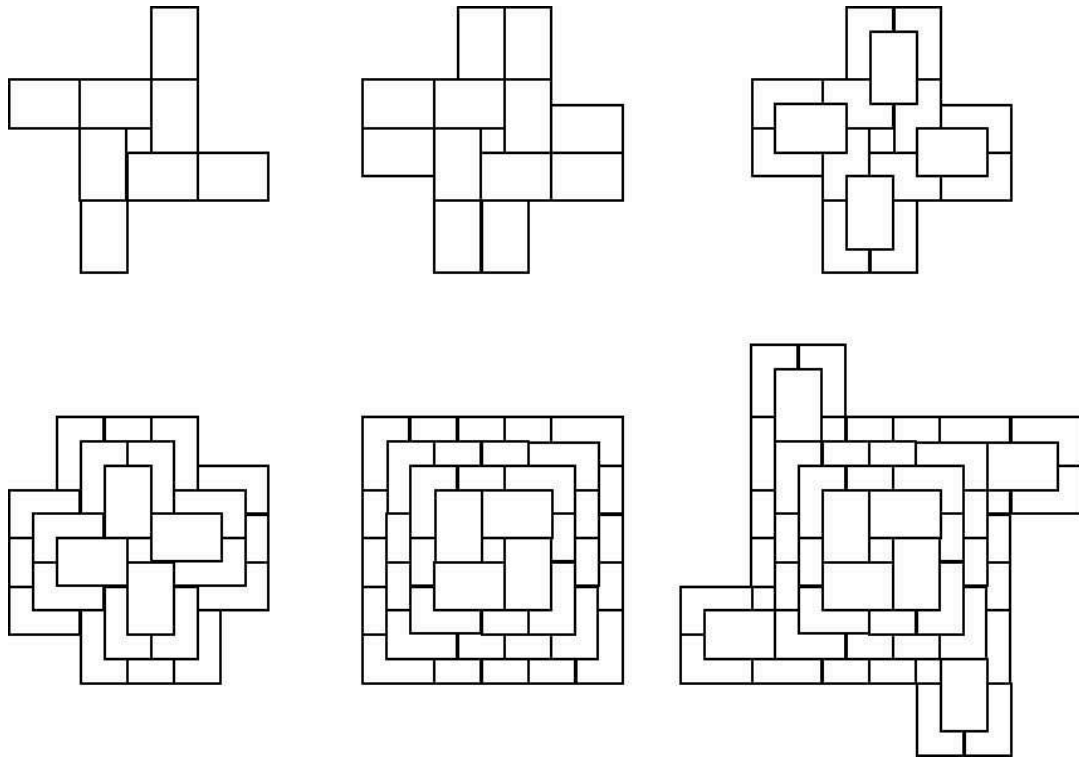


Figure 16. En ajoutant systématiquement des blocs, en escalier, sur les quatre face simultanément, la construction se poursuit. Il s'agit bien d'un « système constructif »



Figure 17. Modélisation avec des briques

7.6. L'appareillage des blocs

Les blocs n'étant pas tous identiques dans leurs dimensions (hauteur, longueur et largeur), l'empilage des blocs va devoir gérer ce caractère aléatoire, sur le tas et à la demande. Il en résultera donc, hier comme aujourd'hui, que le chantier n'est jamais aussi bien réglé que le modèle, l'ouvrage n'est jamais aussi beau que le plan ! Néanmoins, la taille de l'ouvrage, la loi des grands nombres, la distance de recul nécessaire à l'observation, permettent de contempler l'œuvre sans en souffrir, voire même sans s'en rendre compte. Pourtant l'examen rapproché nous montre bien que les blocs sont loin d'être parfaitement équarris ou même taillés, mais plutôt bruts de carrière.

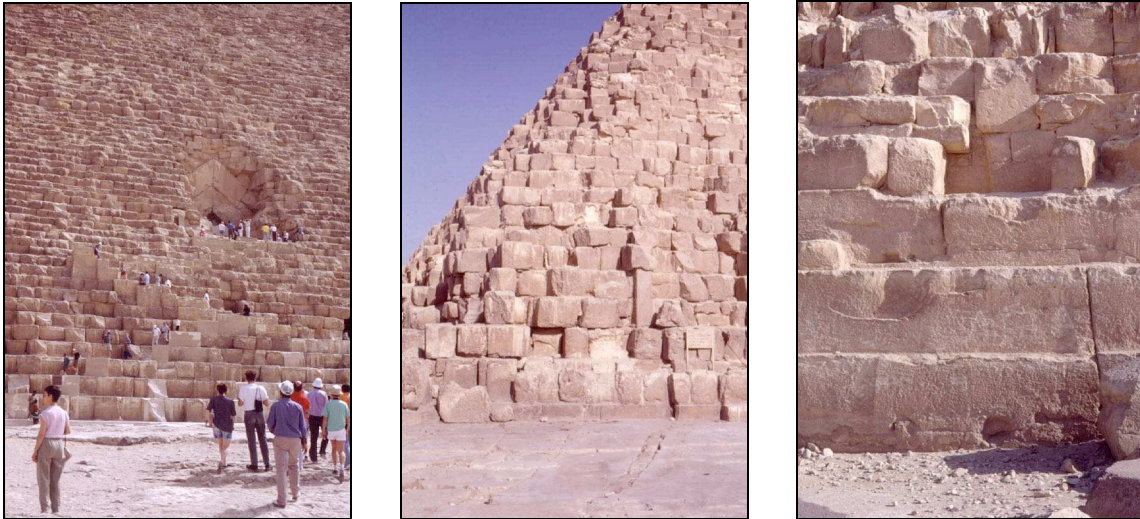


Figure 18. Pyramide de Khéops, vues de l'appareillage des blocs, éloignée et rapprochées (photos Crozat)

La modélisation, loin d'être une méthode « moderne » est en fait des plus anciennes, à laquelle a recours de façon systématique l'enseignement traditionnel des Métiers du Bâtiment, et particulièrement les carriers, tailleurs de pierre et maçons chez les Compagnons du Devoir du Tour de France, encore de nos jours.

Cette méthode conserve toute son efficacité en permettant d'appréhender le volume et la globalité de la construction, par un jeu interactif de la main et de l'esprit, approche manuelle-intellectuelle didactique d'expérimentation et de découverte qui peut paraître à d'aucun comme infantile et/ou ludique, voire ridicule.

Et seul celui qui n'a jamais construit (réellement de ses propres mains) peut confondre modélisation et construction, refuser cet exercice au point d'en avoir peur et se rire de ce mode d'appréhension au risque de ne pas pouvoir comprendre. L'interaction de la main et de l'esprit, par la modélisation, est essentielle d'un processus de découverte, de vision et de développement logique et corollaire - induction/déduction, surtout dans le domaine qui nous concerne ici, celui de la construction.

Le fait est que cette phase de la « vision – expérimentation – compréhension » s'avère essentielle pour le développement de l'enfant, qui, en cas d'absence constituera à l'âge adulte un frein à l'appréhension et à la représentation des formes volumiques, et à la vision dans l'espace.

N'oublions que l'arithmétique est née des « calculi », petits cônes concrets servant de support à l'abstraction la plus haute.

Rien n'empêche de supposer, et même à l'inverse, tout prête à penser que les égyptiens de l'Ancien Empire, dans leur compréhension pratique des choses, se sont servis de la modélisation, en particulier quand il s'agira de pré-voir, pour maîtriser la cohérence de l'ensemble des dispositifs intérieurs de la pyramide de Khéops. Cette modélisation aura pu être réalisée avec des briques d'argile crue séchées au soleil par exemple. Par contre dans les solutions "rampistes", il est nécessaire d'avoir préalablement dressé un plan architectural détaillé de ces dispositifs intérieurs, surtout de la Grande Galerie et de sa mise en scène, dont la construction en pente est difficilement compatible avec un mode de construction par assises horizontales. Encore aujourd'hui cet aménagement poserait problème. On ne comprend pas

alors pourquoi les blocs latéraux en encorbellement ont été posés selon la pente et non pas verticalement.

Un bas-relief de la tombe de Ti nous montre une offrande de fruits au maître des lieux : les figues sont empilées en pyramide. Toutes sortes de choses peuvent être empilées « en pyramide » pour autant qu'elles soient « à peu près » modulaires, quoique le « système » soit apte à contenir des variations importantes (à l'identique de la pile de bois) grâce à la loi des grands nombres. Le problème sera d'autant plus simplifié que des adaptations localisées seront possibles !

De même l'arithmétique purement additionnelle développée dans le cadre de cette recherche, ne saurait être taxée de « mathématiques modernes », puisqu'il est bien établi qu'elle en constitue le premier stade « générique », toutes les Histoires des Mathématiques en attestent et fixent son apparition en Egypte vers 3000 ans avant J.C.

7.7. La pratique précède la théorie

Un exercice intéressant de modélisation consiste à vouloir mettre le plus possible d'oranges dans une cagette parallélépipédique. Ce problème résolu dans la pratique depuis longtemps par le dernier marchand de fruits et légumes, aura du attendre quatre siècles avant d'être démontré d'un point de vue mathématique, il concerne la fameuse conjecture de Kepler. Ceci nous montre, s'il en était besoin, qu'on peut résoudre dans la pratique et par la modélisation, des problèmes que l'abstraction mathématique mettra beaucoup plus de temps à démontrer, et que le même problème de physique peut s'appréhender valablement de différentes manières, et tout aussi sérieusement par la modélisation, voire même de façon ludique.

Selon le modèle proposé, la pyramide se construit alors bloc par bloc, face par face, par enveloppes successives, à l'image des pelures d'oignons emboîtées les unes sur les autres, à partir d'un pyramidion au centre de la base « *on la construisit d'abord sous cette forme* » dicit Hérodote, « *puis on éleva les pierres de complément à l'aide d'une machine faite de courtes pièces de bois* ».

L'examen de la partie érodée de la pyramide de Khephren, nous montre à l'évidence plusieurs couches-enveloppes qui se sont effondrées. On aperçoit alors dessous, l'enveloppe précédente toujours en place, régulièrement ordonnée. Il ne fait aucun doute qu'il en serait de même si on enlevait encore celle-ci, et ainsi de suite, jusqu'au pyramidion premier, au centre de la base.



Figure 19. La partie érodée de la pyramide de Khephren nous montre bien des couches - enveloppes successives

7.8. La machine faite de courtes pièces de bois

Quant à « *la machine faite de courtes pièces de bois* » indiquée par Hérodote, le débat reste ouvert. Cependant le mouvement élévatoire élémentaire étant déterminé par le système récurrent « d'accroissement pyramidal » et sa modélisation, il apparaît désormais que la « *machine* » doit être simple et manœuvrable sans difficulté, et qu'elle doit inverser le mouvement et démultiplier la force qu'on peut lui appliquer. En effet, les blocs doivent être élevés, alors qu'on a tout loisir d'un contrepoids, et amenés contre l'édifice, alors qu'on a de la place de manœuvre à l'extérieur. De plus cette machine devra pouvoir être déplacée de degré en degré, donc n'être pas trop lourde, de même devra-t-elle être facile et économique à fabriquer dans la mesure où on cherchera à répondre au texte d'Hérodote : « *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)* ». Toutes ces conditions sont satisfaites par un trépied de bois sur lequel on manipule un bras de levier, machine que l'on déplace ou que l'on multiplie.

Bien sur les égyptologues nous le diront, le « chadouf » n'est attesté en Egypte qu'à partir de 1550 av. J.C., peut-être importé de Mésopotamie où il apparaît dès la première moitié du III^{ème} millénaire (sceau cylindre A 156).

Cependant, qui doutera de la pratique du balancier pour porter les charges, de l'utilisation de la rame, du gouvernail, en Egypte à l'Ancien Empire et peut-être bien avant. Enfin la pesée

des âmes par Anubis n'utilise-t-elle pas le balancier ? Dès lors il semble évident¹ que le levier était couramment utilisé ; le problème à résoudre consistait, avant tout, à notre avis, à trouver le point d'appui à la hauteur voulue, ce que l'on résout aisément en fabricant un trépied à la bonne hauteur et résistant à la charge : « *machine faite de courtes pièces de bois* ». Si le levier s'avère être un outil usuel, par contre le trépied constitue bien une machine propre adaptée au problème de levage à résoudre, donc une spécificité ou une invention qu'Hérodote n'a pas omis de signaler.

Le calcul statique et la résistance des matériaux nous indiquent un trépied de 1,5 m de hauteur, posé sur l'entablement des assises, d'une coudée de profondeur, sur lequel on manœuvre à bras un levier (rapport de 3 pour 1) en bois de cèdre ou d'acacia, de 5,5 m de long pour un diamètre de 20 cm sur l'appui, afin de lever une charge maximum de 2,7 tonnes avec un contrepoids de 0,9 t. Ce bras de levier pèsera environ 50 kg et le trépied de même, cet outil est donc facilement transportable et manœuvrable, mais aussi facile et économique à fabriquer, en grand nombre s'il le faut.

Le contrepoids de loin le plus pratique consistera à suspendre au grand bras du levier, non pas un poids « mort » de pierres dans une caisse qu'il faudrait décharger et recharger à chaque assise, comme le propose J.P. Adam (1975), mais d'y faire monter ou s'y suspendre à des cordes, à la demande et au moment opportun, le contrepoids « vivant » d'une équipe d'ouvriers, qui graviront d'eux-mêmes au fur et à mesure l'escalier des assises successives. Le calcul nous propose des équipes d'ouvriers d'une vingtaine d'hommes au maximum, pour constituer un contrepoids de 900 kg, avec un chef d'équipe pour commander et effectuer la manœuvre du levier, tel une direction assistée d'automobile.

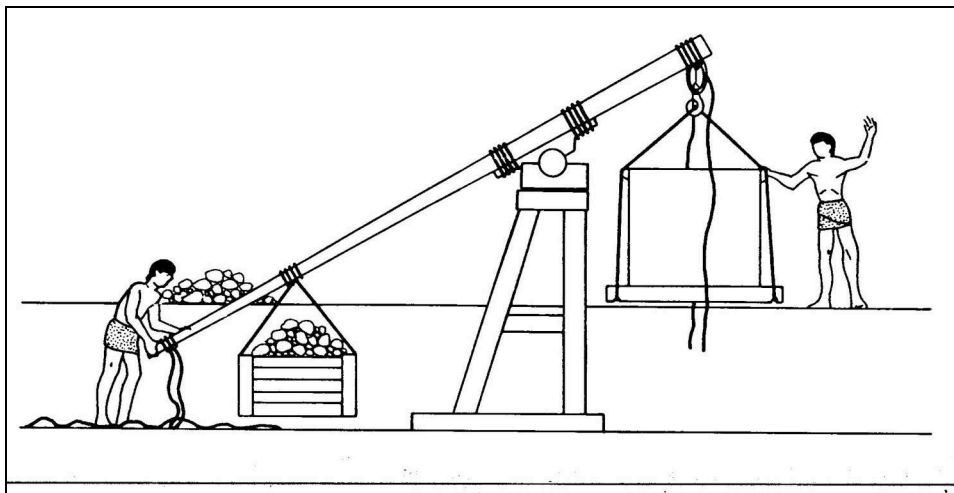


Figure 20. Levier à contre-poids « mort » proposé par J.P. Adam. Si le bras semble juste, le trépied semble trop conséquent, le contre-poids peu pratique et la manœuvre inexacte.

Dans cette manœuvre, l'effort physique des « ouvriers en contrepoids » est pour ainsi dire nul, il doit cependant être conjugué en un mouvement d'ensemble, c'est à dire volontaire et

1. J. Ph. Lauer l'affirme lui-même, dans son article de *l'Encyclopédie des Métiers* publiée par l'Association Ouvrière des Compagnons du Devoir, au chapitre sur *La maçonnerie et la taille de pierre*, tome 5, *Les outils*, p 278, 1^{er} paragraphe, concernant le *Levage, bardage et transport de gros blocs de pierre dans l'Égypte ancienne*, que nous citons : « *Dès le Néolithique, les hommes avaient reconnu le principe de la démultiplication des forces par le levier et surent l'appliquer pour l'érection de leur monuments mégalithiques. Quant aux Égyptiens de l'époque thinite et de l'Ancien Empire, ils en firent un large usage...* » !

ordonné, action par définition d'intelligence humaine et d'adhésion participative, à l'opposé des images d'esclavage¹ véhiculées jusqu'alors par les théories rampistes.



Figure 21. Maquettes et essais de levier à l'échelle 1/10 et 1/3.

7.9. La dernière enveloppe sera ravalée

La dernière enveloppe externe dite de « revêtement », posée toujours selon le même procédé, peut très bien être réalisée, totalement ou partiellement, dans une autre qualité de pierre, donc d'une autre provenance : calcaire blanc de Tourah ou granite bleu d'Ethiopie, afin de parfaire l'édifice et de le protéger. Pour Khéops, son volume représentera 3% du total de l'édifice.

Elle sera ensuite ravalée, c'est à dire que l'on cassera le nez des assises, ce qui donnera les blocs trapézoïdaux encore observables. Ce ravalement n'a pas pour but « *de la rendre lisse et belle* », mais bien de supprimer les entablements sur lesquels repose le trépied, en commençant « *donc d'abord par le sommet, puis les étages inférieurs et la base de l'édifice* ».

Elle est dès lors « *achevée* » (dixit Hérodote) car, les entablements ayant disparu, il est dès lors impossible de poser le trépied et d'appliquer le levier, et donc d'ajouter un quelconque bloc à l'édifice.

1. Les dernières découvertes faites dans les fouilles des tombes des ouvriers bâtisseurs des pyramides, effectuées sous la direction de Z. Hawass, à Gizeh, semble nous donner raison : les équipes de 10 à 20 hommes se dénommaient "les amis de Khéops" ou "les enivrés de Mykérinos", divisés en "phyles" représentés chacun par un hiéroglyphe (vie, endurance, perfection)



Figure 22. Revêtement final « ravalé » de la pyramide de Mykérinos

8. DISPOSITIFS INTERIEURS

En application du procédé et grâce à « l'outil d'aide à la conception » que constitue la modélisation, il est loisible de réaliser « corollairement » l'ensemble des dispositifs intérieurs de la pyramide de Khéops : couloirs horizontal, ascendant et descendant, chambres du Roi et de la Reine, Grande galerie, et même les conduits de ventilation, au fur et à mesure de l'érection de la pyramide, à ciel ouvert, à leurs emplacements respectifs.

8.1. Un faisceau de plans inclinés construits par anticipation

Par anticipation de la construction sur une face (la face nord par exemple), il est possible de réaliser une excroissance, qui constitue un plan incliné dont le couloir ascendant en est le témoin archéologique, et ainsi de suite tout un faisceau de plans inclinés successifs, parallèles et superposés, générés par l'accrétion, sur lesquels seront glissés par la suite, à la demande et au moment opportun, les 52 monolithes de granite, pesant de 30 à 60 tonnes, constitutifs de la chambre du roi ainsi que les « arcs de décharges » jusqu'à 65 mètres de hauteur.

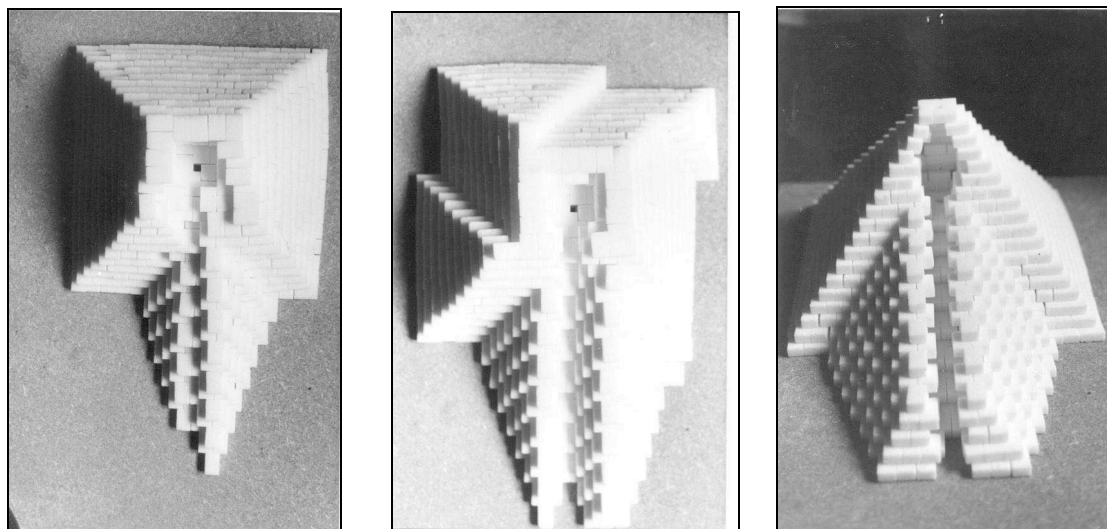


Figure 1. Par anticipation de la construction sur une face, on réalise un plan incliné.

La pente du couloir ascendant et du faisceau de plans inclinés est alors de 50 %, ce qui dépasse de loin la pente de 5 % admissible pour glisser des traîneaux de charges pondéreuses, à bras ou attelage quelconque. Nous verrons par la suite quelle solution « extraordinaire » les architectes de Khéops ont su alors inventer !

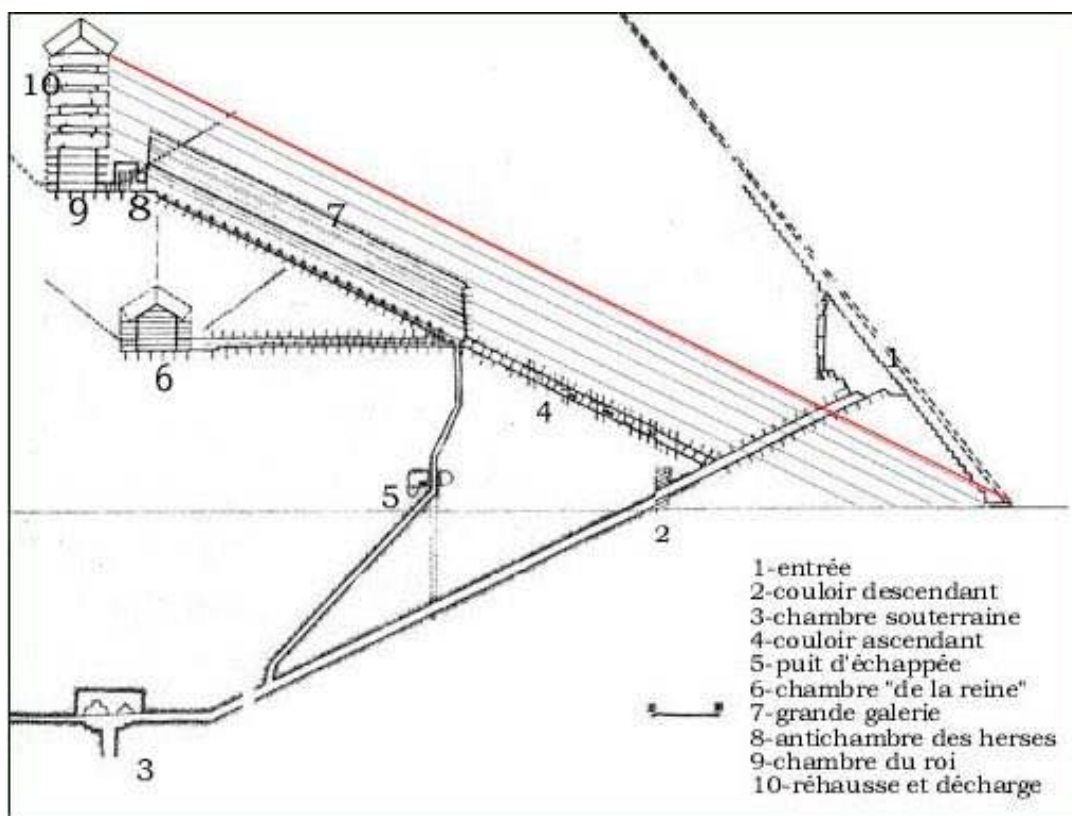


Figure 2. Le couloir ascendant et tout un faisceau de plans inclinés

Comme le montre la figure suivante, le rapport entre la hauteur moyenne des assises et la profondeur moyenne des entablements, ou si l'on veut le rapport entre la hauteur de la pyramide et la demi-base, correspond à la tangente de l'angle α de la pente de la pyramide de Khéops, soit :

$$\tan(\alpha) = 1,25 \text{ d'où } \alpha = 51^{\circ}34'$$

ce qui semble bien être le cas (et non pas $1,2727 = 14/11$, environ la racine carrée du nombre d'or comme on le prétend souvent). L'angle de cette excroissance par anticipation, c'est à dire l'angle β du couloir ascendant et de l'ensemble du faisceau de plans inclinés, est tributaire du recouvrement de $2/3$ soit un entablement - encorbellement de $1/3$, du bloc « *crossai* » sur deux blocs « *bomides* ». La tangente de cet angle β est alors établie par la relation : deux hauteurs sur cinq coudées, soit :

$$\tan(\beta) = \frac{1,25 \times 2}{5} = 0,5 \text{ d'où } \beta = 26^{\circ}56'$$

ce qui semble bien être le cas, aussi.

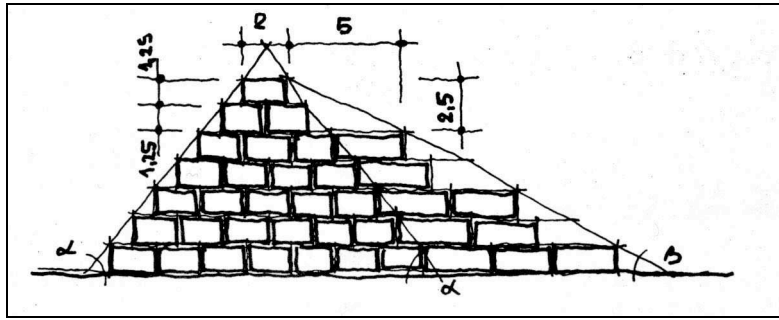


Figure 3. La pente du couloir ascendant est de 50% ($\text{tg } \beta = 1/2$)

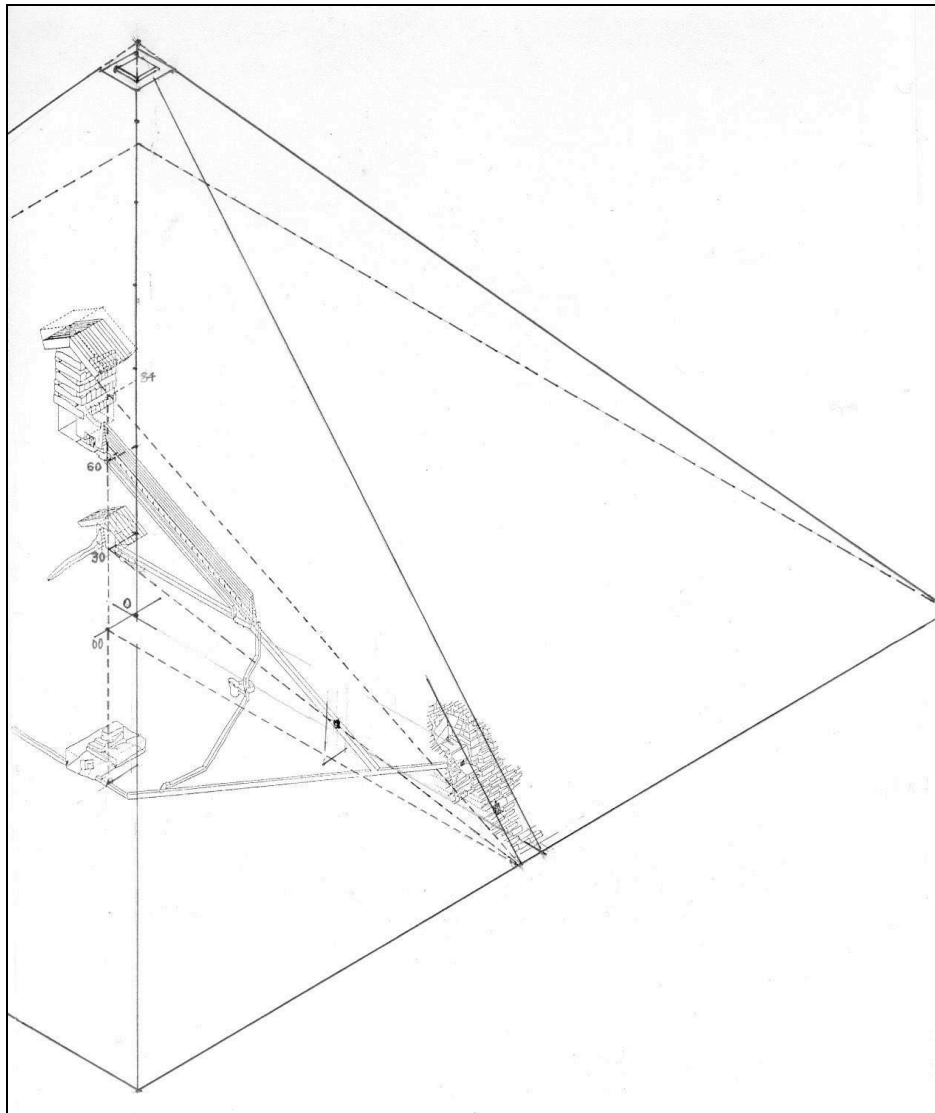


Figure 4. Ensemble des dispositifs intérieurs de la pyramide de Khéops

8.2. La Chambre du Roi

La chambre du Roi, d'une largeur de 5,25 m, aura nécessité l'utilisation de poutres monolithes de granite pour des raisons de résistance des matériaux à la flexion, amenées par bateau (?) depuis le gisement des carrières d'Assouan à 700 km en amont sur le Nil et hissées sur la chaussée montante, de la vallée jusque sur le plateau soit à 41 m, pour être à pied d'œuvre.

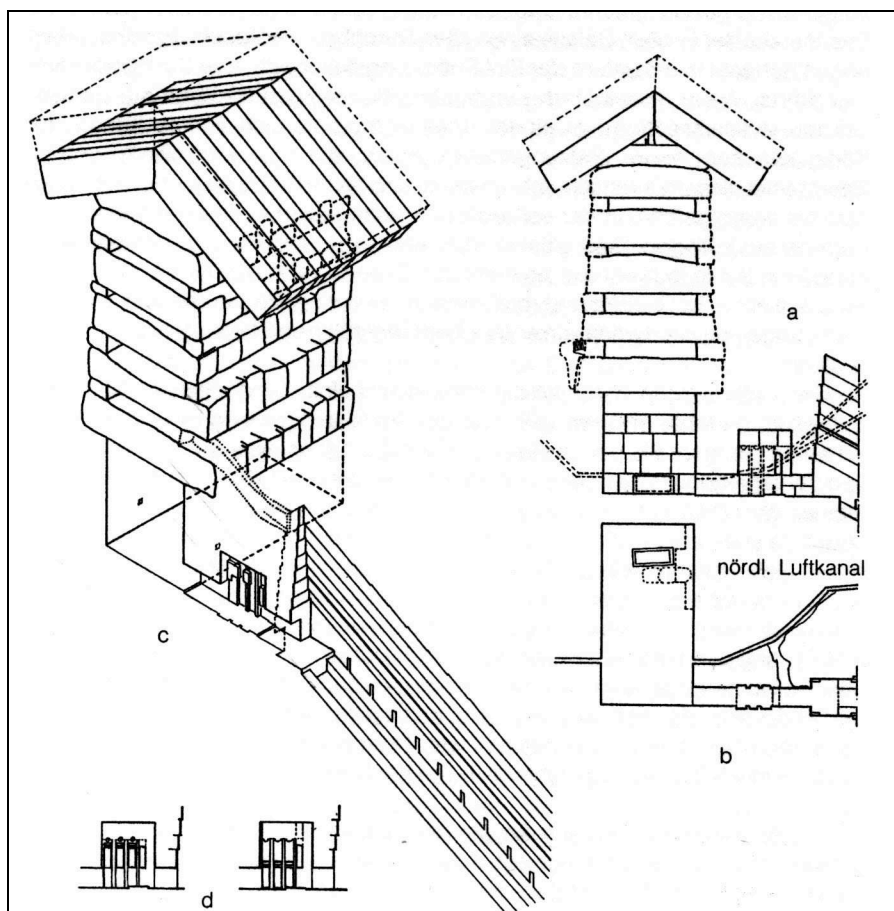


Figure 5. La chambre du Roi, les rehausses et l'arc de décharge (d'après Stadelmann)

Avant même que de servir aux processions, cette chaussée-voirie est surtout nécessaire à l'acheminement des matériaux, poutres monolithes de granite ou de calcaire et blocs calcaire de Tourah du revêtement final, ainsi que les barques « sacrées ». Elles auront sans doute été utiles à l'acheminement des travailleurs eux mêmes, il est difficilement pensable que leur habitat ait pu se situer sur le plateau rocheux, mais bien plutôt en bas dans la plaine alluviale. On ne peut laisser « 100.000 hommes », dicit Hérodote, grimper la falaise et envahir ainsi le plateau de toutes parts.

Ces poutres monolithes seront ensuite glissées, une à une, au fur et à mesure de leur élévation, sur le faisceau de plans inclinés, construit à ciel ouvert, et mis en place aux différents étages où elles se trouvent, entre 45 et 65 m. Nous pensons que ces poutres de granite, contrairement à leur appellation habituelle « d'arc de décharge », servent en fait de « rehausses » pour supporter « l'arc de décharge en chevron » en chapeau, au sommet du dispositif de la Chambre du Roi.

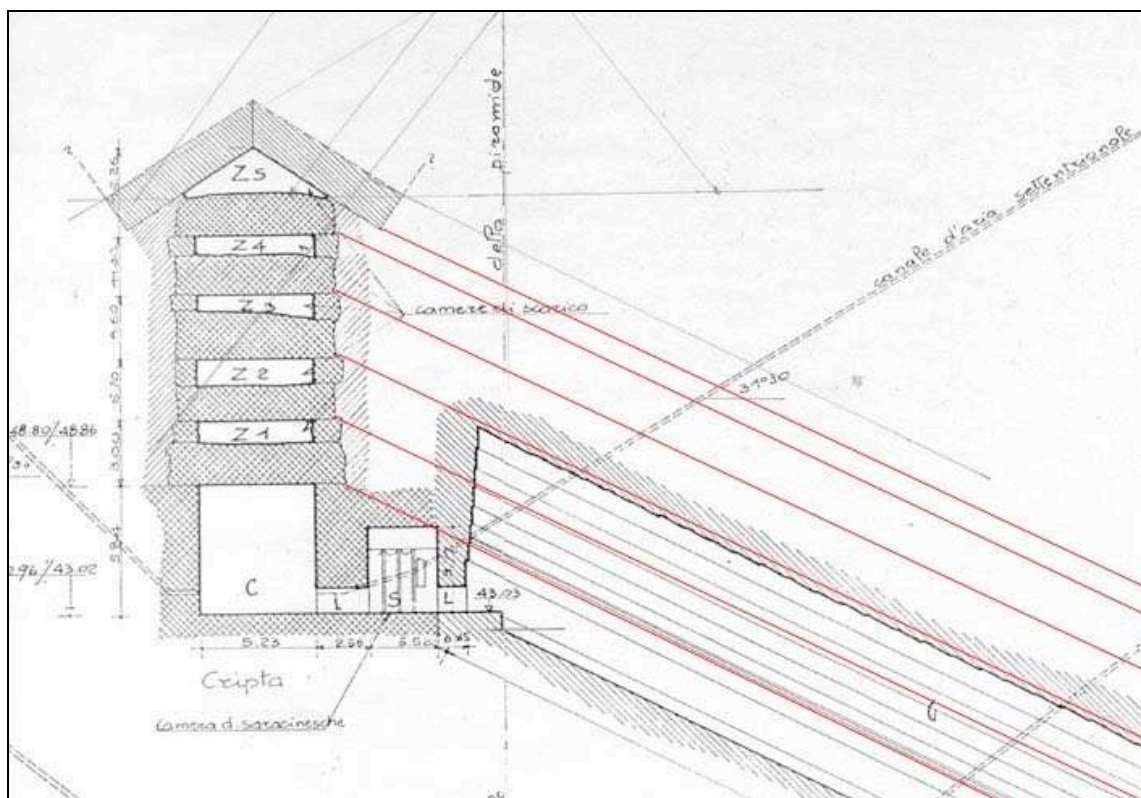


Figure 6. Chambre du Roi, les cinq ré-hausses de granite portant l'arc de décharge en calcaire(d'après Maragioglio et Rinaldi)

En effet, cet arc de décharge a pour fonction statique de renvoyer sur les cotés les charges appliquées, selon une composante « biaise » et non-pas verticale. De ce fait, il se devra dépasser largement le sommet de la Grande Galerie afin que la charge résultante ne pousse pas au vide (statique) et ne déforme, voire détruise cet ouvrage.

Il semblerait néanmoins que ce dispositif ait « travaillé » quelque peu, puisque d'une part l'arc de décharge s'est un peu affaissé et donc ouvert au centre, et d'autre part que les blocs de couverture de la Grande Galerie ont légèrement basculé en aval.

Par ailleurs, les poutres (au toit de la chambre mais aussi présentes dans les étages supérieurs) présentent des fissures. J. Kérisel (1991) nous donne son interprétation personnelle de cette fissuration en les faisant apparaître au moment de leur mise en œuvre comme le résultat d'un tassement différentiel des parois nord et sud. Cependant le schéma statique qu'il nous propose (figure suivante) correspond à des poutres sur appuis encastrés ce qui ne saurait être le cas au moment de leur mise en place, moment où elles reposent sur appuis simples ! Ces fissurations qui ne nuisent en rien la stabilité de l'ouvrage pourraient simplement résulter du fil du granit. Une autre interprétation permettrait de considérer les poutres en encastrement, du fait de la charge totale, une fois la chambre terminée et en décharge. Ces fissures auront alors pu être reprises au plâtre, avant la fermeture définitive de la pyramide.

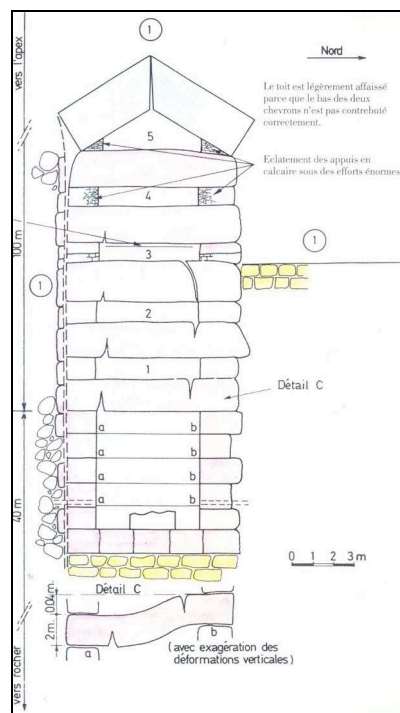


Figure 7. Les poutres de rehausse sont fissurées, d'après Kérisel (1991)

Il semblerait, ce qui reste à vérifier, que l'arc de décharge ne touche pas (ou plus) le ciel de la maçonnerie qui se porte seule par « effet de voûte »¹.

D'évidence, cet arc de décharge peut être en calcaire puisqu'il est sollicité à la compression, il est constitué des derniers monolithes à mettre en place. On peut alors vérifier géométriquement, en tirant la parallèle au couloir ascendant depuis le pied de la pyramide, que celle-ci correspond bien au dernier plan incliné du faisceau, ayant permis la mise en place du dernier monolithe de l'arc de décharge. Dans cette hypothèse, on remarquera que les constructeurs de cette pyramide sont restés à l'intérieur de leur épure et qu'aucun ouvrage superflu n'aura été réalisé qu'il aurait fallu démonter ensuite.

Enfin, d'après le modélisation, il est alors impossible de hisser plus haut un quelconque monolithe. Dans l'état actuel des connaissances, il ne semble pas qu'il y ait d'autres monolithes plus haut dans la pyramide.

1. Effet de voûte, particulièrement bien connu des scientifiques des « milieux granulaires » comme ceux du Laboratoire des Milieux Désordonnés et Hétérogènes - Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.

9. LA GRANDE GALERIE DE LA PYRAMIDE DE KHEOPS

Au point où nous en sommes, il devient alors plausible d'apporter une explication logique à l'existence, au rôle et à la méthode de construction de la Grande Galerie de la pyramide de Kheops, ce que personne n'a encore tenté.

Quelles interprétations plus ou moins extravagantes n'a-t-on pas lues sur l'architecture de la Grande Galerie, les banquettes latérales, les encoches régulières, les blocs tampons, les échafaudages intérieurs, le puits... En fait, la vérité est à la fois plus simple et plus ingénieuse !

9.1. La sape d'Al-Mamoun en 827

Reprenons à la base. Les blocs-tampons en granit (il en reste deux et demi en place) qui bouchent le départ du couloir ascendant, coincés qu'ils sont dans le rétrécissement du couloir prévu à cet effet, sont en fait dans leur position et leur rôle final, terminal, celui d'obstruer ce couloir. Le soin qu'avait pris le constructeur à dissimuler leur présence, au plafond du couloir descendant, laisse à penser que ce couloir, et donc la chambre souterraine (inachevée) n'étaient qu'un leurre pour les profanateurs-voleurs qui auraient trouvé la porte d'entrée. Peut-on aller jusqu'à penser que ce leurre correspond à l'histoire que cite Hérodote sur la chambre souterraine où « devrait » reposer la momie de Khéops ?

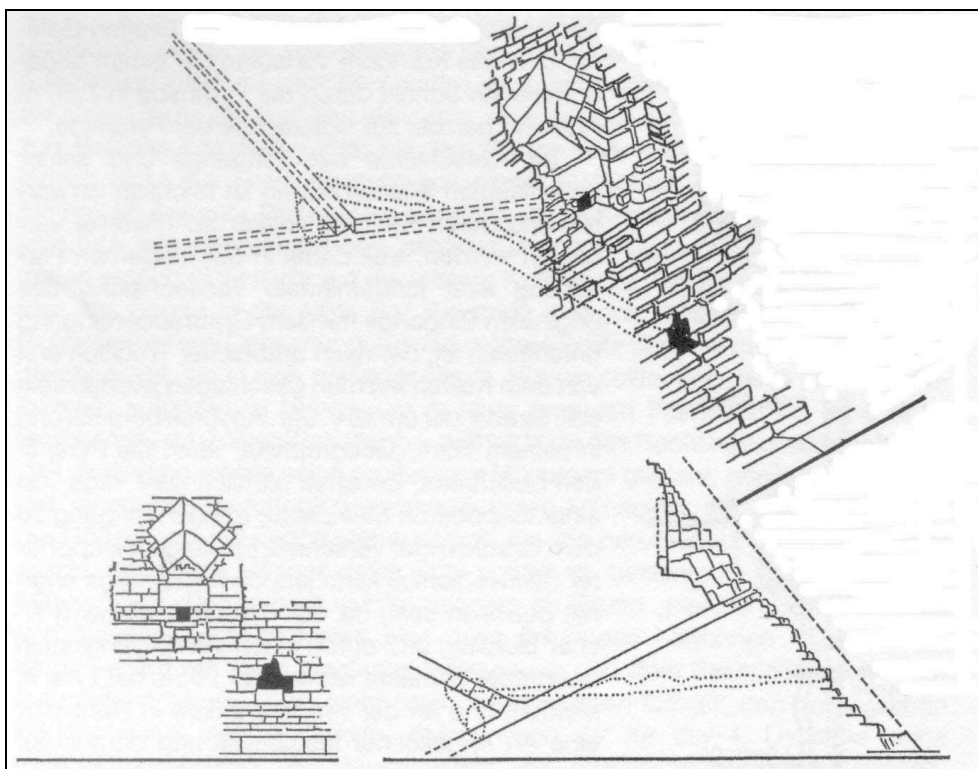


Figure 1. La sape ou passage forcé par Al Mamoun en 827, d'après Stadelmann (1990)

L'intuition, la chance ou la connaissance partielle dont Al-Mamoun a bénéficié, lui permirent d'éviter ce leurre. Il força donc le passage que l'on sait, à l'aide « du feu [la poudre ?], du levier et du vinaigre », à la recherche d'autre chose. On rapporte que ce bloc de forme

trapézoïdale qui dissimulait les blocs tampons au départ du couloir ascendant serait alors tombé avec fracas.

Ces blocs (futurs tampons) de granit ne sont en fait devenus « tampons » qu'au moment où on a voulu obstruer le couloir ascendant, c'est-à-dire une fois la momie mise en place dans son sarcophage dans la chambre du Roi et après que tout le monde se fut retiré, par le couloir dit « des voleurs ». Avant cela, où se trouvaient-ils ? Certes pas dans le couloir, mais bien stockés dans la Grande Galerie, où ils étaient retenus.

Et pourquoi ces blocs (ainsi que celui qui est tombé dans le puits et qui se trouve dès lors dans la grotte) ? Peut-être y en avait-il d'autres ? En prenant en compte la longueur de la partie « rétrécie » au départ du couloir ascendant – correspondant à la partie appareillée en joints verticaux – on peut compter sur la possibilité de cinq ou six blocs tampons, dont seulement deux et demi sont encore en place (les autres ayant peut-être été détruits par Al-Mamoun). Il y a aussi la place, jusqu'au début de la grande galerie, pour un nombre plus grand de blocs de ce genre.

9.2. Mise en place des monolithes sur le faisceau de plans inclinés

Pour pouvoir glisser sur la pente de la Grande Galerie et du couloir ascendant, ces blocs-tampons devaient soit être poussés par l'homme, soit bénéficier d'un lubrifiant ou un dispositif réduisant le frottement (barbotine d'argile par exemple). Cette opération nécessitait de plus la réalisation d'un plancher assurant la continuité du chemin de glissement au carrefour avec le couloir horizontal d'accès à la chambre de la Reine.

Par ailleurs, si les linteaux monolithes de 30 à 60 tonnes chacun ont pu être hissés traînés sur les rampes parallèles, superposées, successives, on s'interroge sur le dispositif de traction.

Ce jeu de rampes permet tout à fait de hisser, chacun à sa place, l'ensemble des monolithes de granit nécessaires à la construction de la chambre du Roi et des arcs de décharge superposés.

Observons maintenant le système induit par l'accrétion-exhaussement des rampes superposées, on constate :

- que le dispositif des couloirs et chambres finit par être complètement inclus dans le massif de gros œuvre de la pyramide et disparaît complètement, excepté le couloir d'accès ;
- que la chambre de la Reine a pu être construite de la même façon, peut-être par la face Est, la niche en encorbellement de cette chambre serait alors le reliquat du dispositif des rampes superposées, à l'image de la Grande Galerie ;
- que la Grande Galerie n'est autre qu'un espace ménagé pour le stockage des blocs futurs tampons (et leur manipulation).

Mais cet espace devait être impératif, étant donné son importance et sa disposition, et son rôle, à l'évidence, devait être bien supérieur à un simple dispositif de stockage. On connaît en effet, dans d'autres pyramides, des dispositifs beaucoup plus simples de stockage et d'obstruction. Cet espace de la Grande Galerie, par sa longueur et sa hauteur, a constitué, à un

certain moment, une gêne, un obstacle à l'acheminement des monolithes, au point qu'il a fallu alors recourir à la réalisation d'un plancher intermédiaire, encastré dans la gorge ménagée à cet effet sur toute la longueur, pour assurer la continuité des rampes superposées. Il correspond à l'acheminement de certains monolithes du plafond de la chambre du Roi.

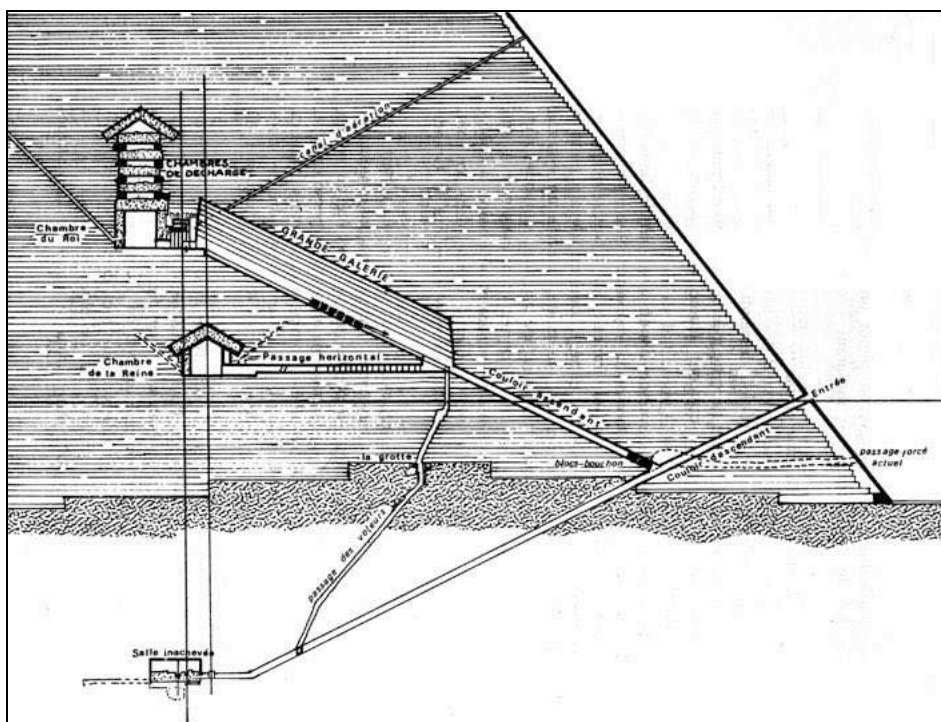


Figure 2. Les blocs tampons stockés temporairement dans la Grande Galerie, d'après G. Goyon (1977)

Mais pourquoi est-elle si longue (47 mètres) ? Un espace latéral aurait été bien suffisant pour stocker ces blocs tampons !

Il fallait donc que le rôle dévolu à la Grande Galerie soit impérativement utilitaire et que son utilité soit nécessaire tout au moins le temps de l'ascension des monolithes sur les rampes parallèles superposées.

Par ailleurs, les encoches latérales régulières, tout au long de la Grande Galerie, ne cessent d'intriguer tous les observateurs, et chacun essaie en vain de leur trouver une quelconque utilisation. C'est vrai qu'elles n'ont pas été faites pour décorer et il faut bien, n'en déplaise à certains, les considérer comme éminemment utilitaires.

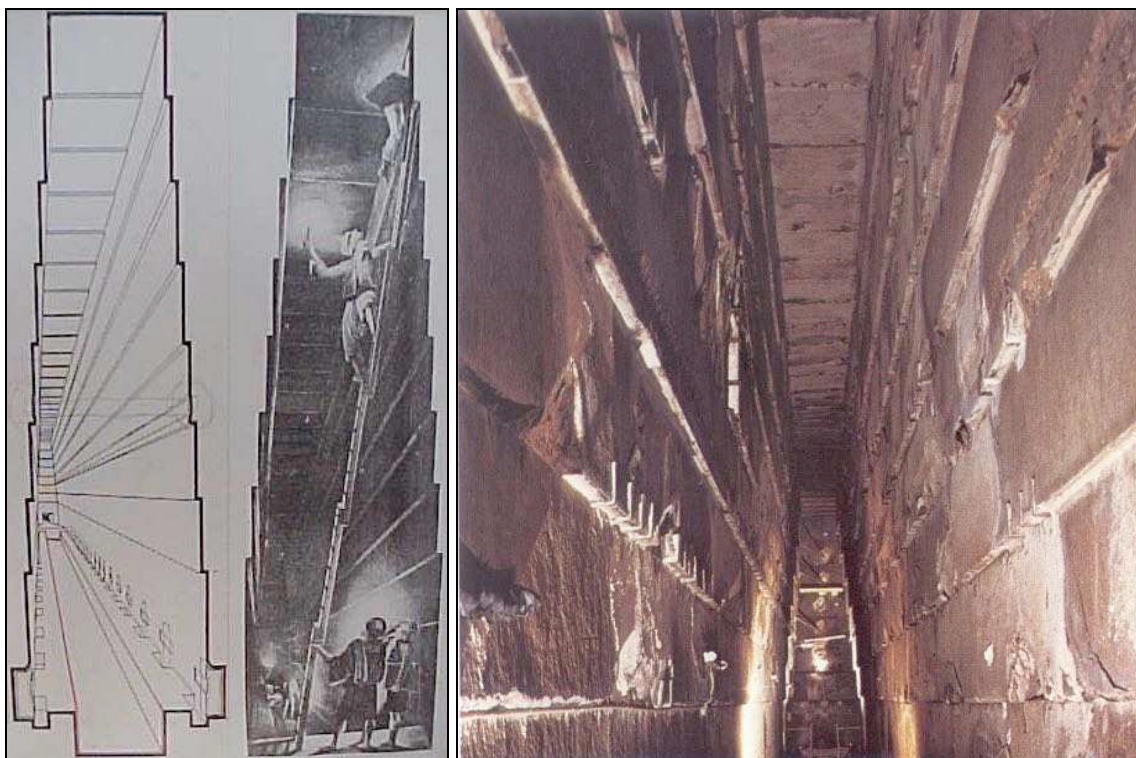


Figure 3. Profil de la Grande Galerie. Les mortaises latérales sur les banquettes servent-elle une crémaillère ?

9.3. Un espace fonctionnel et utilitaire

Et c'est là que la réalité dépasse, et avec quel génie, l'imagination la plus folle. En effet, les mortaises de la Grande Galerie constituent une crémaillère. Le poids additionné des cinq (ou plus) blocs (futurs tampons) ne serait-il pas équivalent au poids d'un monolithe à hisser sur la rampe ? Ces cinq (ou plus) blocs seraient en fait le contrepoids, la Grande Galerie étant la glissière, d'un extraordinaire et magnifique ascenseur oblique permettant d'équilibrer les charges et frottements du monolithe à faire glisser sur sa rampe, par l'entremise d'un inverseur de mouvement, l'équivalent d'une roue, d'une poulie, selon le schéma ci-après.

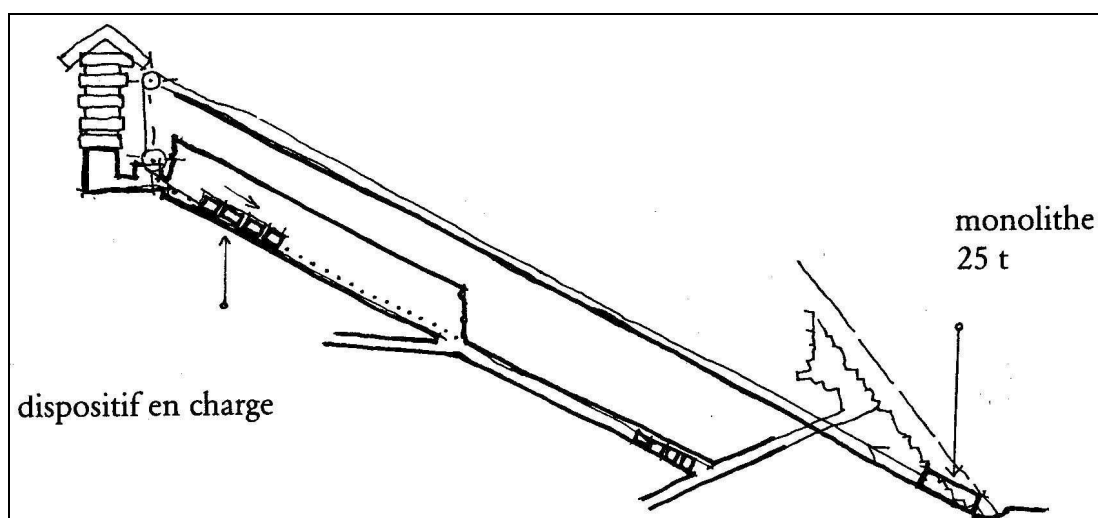


Figure 4. Grande Galerie : Contre-poids, dispositif en charge, mouvements inverses équilibrés.

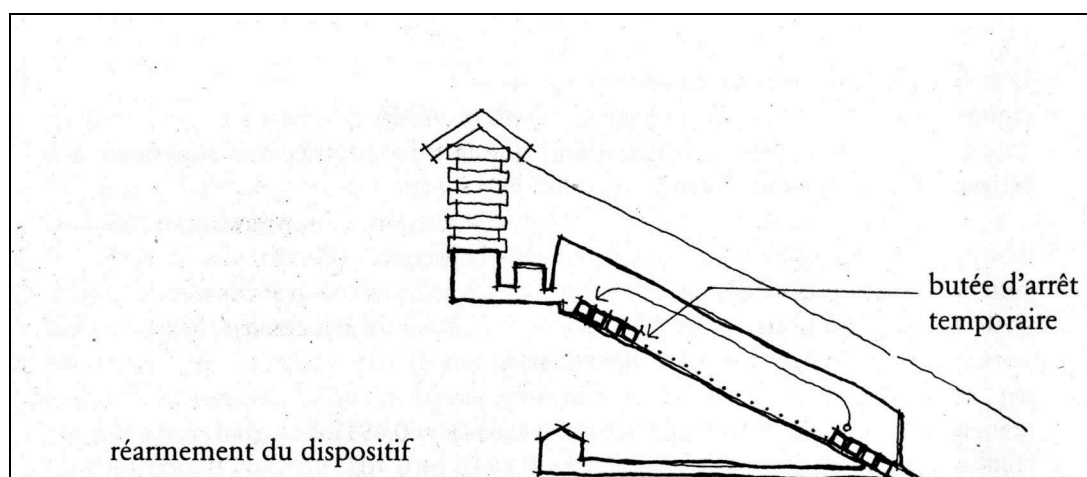


Figure 5. Grande Galerie : Réarmement du dispositif, bloc par bloc

Ainsi ont pu être hissés les monolithes de 30 ou 40 tonnes chacun (certains pesant jusqu'à 60 tonnes), avec le même dispositif permanent, le réarmement du dispositif étant rendu possible par le fractionnement du contre-poids (futurs blocs-tampons) en cinq ou six blocs individuels (voire plus pour les plus gros monolithes), qui, regroupés, équivalent le poids du monolithe considéré à hisser et mettre en place.

Un rapide calcul illustré par la figure suivante permet d'éclairer le dispositif.

Soit :

- P : le poids du monolithe à hisser
- C : le poids du contre-poids
- μ : le coefficient de frottement = 5 %
- α : l'inclinaison de la pente avec :
 $\tan(\alpha) = 1/2 \Rightarrow \alpha = 26,6^\circ$
 $\Rightarrow \sin(\alpha) = 0,447$
 $\Rightarrow \cos(\alpha) = 0,894$

En négligeant la résistance-frottement de la poulie, la résistance au mouvement peut s'écrire :

$$\mu C \cos(\alpha) + \mu P \cos(\alpha)$$

De même, la force motrice s'écrit :

$$C \sin(\alpha) - P \sin(\alpha)$$

Pour qu'il y ait mouvement, il faut que la force motrice soit supérieure à la résistance au mouvement, soit :

$$\begin{aligned}
 F_{\text{marice}} &\geq R \\
 \Rightarrow C \sin(\alpha) - P \sin(\alpha) &\geq \mu C \cos(\alpha) + \mu P \cos(\alpha) \\
 \Rightarrow C \sin(\alpha) - \mu C \cos(\alpha) &\geq P \sin(\alpha) + \mu P \cos(\alpha) \\
 \Rightarrow C (\sin(\alpha) - \mu \cos(\alpha)) &\geq P (\sin(\alpha) + \mu \cos(\alpha)) \\
 \Rightarrow C &\geq P \frac{(\sin(\alpha) + \mu \cos(\alpha))}{(\sin(\alpha) - \mu \cos(\alpha))} \\
 \\
 \Rightarrow C &\geq P \frac{(0,447 + 0,05 \times 0,894)}{(0,447 - 0,05 \times 0,894)} \\
 \Rightarrow C &\geq P \times 1,222
 \end{aligned}$$

donc :

$$P = 25 \text{ tonnes} \Rightarrow C \geq 25 \times 1,222 = 30,55 \text{ tonnes}$$

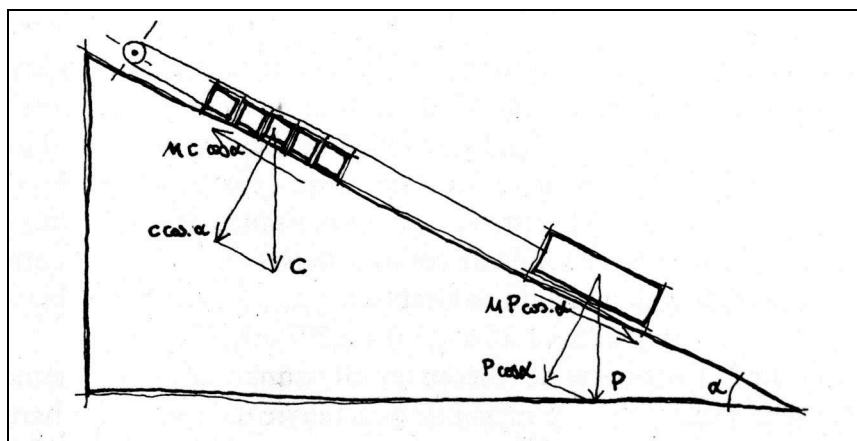


Figure 6. Schéma et calcul de fonctionnement en rappel

D'autre part, la section des blocs-tampons-contreponds nous est donnée par la section du couloir ascendant, soit 1,05 m x 1,20 m, ils doivent au total peser 30,55 tonnes (pour une charge à hisser de 25 tonnes) soit un volume de 11 m³ (par rapport aux 9 m³ du monolithe à hisser), soit 8,73 m de longueur pour la section donnée :

volume x poids spécifique = poids

$$(1,05 \times 1,20 \times 8,73) \times 2,777 = 30,55 \text{ tonnes}$$

Soit donc cinq blocs de 1,75 m de longueur pesant chacun un peu plus de six tonnes (6,11 tonnes précisément) et dont il ne subsisterait que deux et demi ; les deux ou trois autres (ou plus encore) en amont auraient été détruits par Al-Mamoun pour se frayer le passage vers la Grande Galerie !

Dans l'antichambre, située en haut de la Grande Galerie et à l'entrée de la Chambre du Roi, de la même façon que les blocs contre-ponds (futurs tampons) ont été manœuvrés sur la crémaillère, les 3 herse de granit, par le fait même qu'elles sont montées sur rouleaux, auront été manœuvrées plusieurs fois. On peut même penser, de ce fait, que leur rôle est tout autre

que d'obturer la chambre. En effet, cette disposition est trop ingénieuse et l'obturation aurait pu se faire d'une façon plus simple voire plus efficace.

Pourquoi donc ces trois herse ont-elles été faites pour être manœuvrées plusieurs fois, voire de nombreuses fois ?

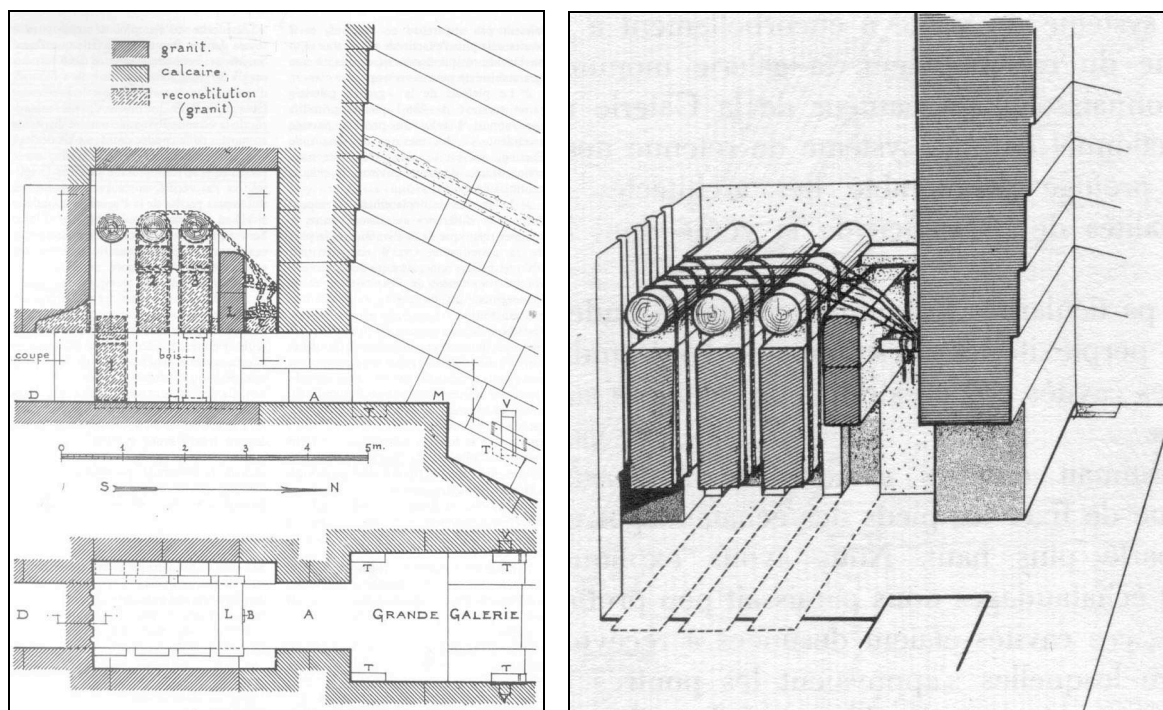


Figure 7. Dans l'antichambre, les 3 herse de granit sont faites pour être manœuvrées souvent. Dessin d'après Ph. Lauer et G. Goyon

Nous suggérons que l'antichambre de la chambre du Roi et ses herse mobiles ont une autre utilité que l'obstruction de l'entrée : un rôle fondamental dans le réarmement du contrepoids, voire même dans le dispositif d'inversion et de régulation des charges équilibrées. La forme semi-circulaire des paliers d'appui témoigne de l'utilisation de pièces (de bois) cylindriques (rouleaux) du dispositif d'action des herse, ce qui démontre bien l'existence, la connaissance et l'utilisation du cylindre, donc vraisemblablement de la roue. Le poids cumulé de ces trois herse (en granit) ne correspond-il pas au poids d'un bloc individuel d'un blocs du contrepoids ? La vérification est positive :

$$3 \times (0,525 \times 1,20 \times 1,23) \times 2,777 = 6,45 \text{ tonnes}$$

En résumé : l'architecte de Khéops, ayant connaissance du système d'accrétion-exhaussement, pour réaliser le massif de gros oeuvre (connaissance héritée de l'expérience de la construction des pyramides attribuées à Snéfrou à Dachour-Sud (Rhomboidale) et Dachour-Nord (Pyramide Rouge), et à notre avis avec l'aide d'une modélisation en réduction avec des briques de terre crues ou cuites, par anticipation de la construction des couches (partie des cônes-enveloppes), technique permettant par ailleurs de démultiplier dans l'espace les équipes d'ouvriers, a pris conscience du système de rampes parallèles superposées ainsi induites, et il a, dans un premier temps, expérimenté son invention lors de la réalisation de la Chambre de la Reine.

Fort de cela (mais peut-être dès le départ), il aura appliqué le même principe, mais avec quelle

ampleur, à la Chambre du Roi, dont l'ensemble se situe entre quarante-trois et soixante-cinq mètres au-dessus du sol de la plate-forme extérieure. Pour hisser un par un, sur ces rampes parallèles superposées, les quatre-vingt-dix monolithes de granit de 30 à 60 tonnes, il a imaginé, réalisé et fait fonctionner un ascenseur oblique, par équilibre des charges, dont la Grande Galerie n'est autre que le chemin de glissement du contrepoids constitué par cinq blocs de granit, qui, une fois leur service rendu, et après la mise en sarcophage de la momie, seront lâchés, et glisseront sur la pente de la galerie et du couloir ascendant pour remplir leur dernière fonction : venir s'encaster dans le rétrécissement aménagé au bas de celui-ci, pour l'obstruer définitivement. Il ne restait plus qu'à dissimuler la présence du couloir ascendant.

9.4. Un extraordinaire ascenseur oblique.

La Grande Galerie apparaît alors dans sa fonction purement « utilitaire » comme l'espace de manœuvre et le chemin de glissement du contrepoids d'un « extraordinaire ascenseur oblique¹ » comprenant :

- une glissière centrale et banquettes latérales d'où son profil,
- une crémaillère formée des mortaises latérales disposées régulièrement sur toute sa longueur,
- un contrepoids composé des 5 ou 6 futurs (voire davantage) blocs tampons
- et de moufles et cordages à savoir les paliers de cylindres et encoches de cordes dans l'antichambre,

permettant par équilibre des charges, du contrepoids total (somme des futurs blocs tampons) et de la poutre monolithe à acheminer, de hisser l'un après l'autre, sur le faisceau de plans inclinés, les 52 monolithes de 30 (à 60) tonnes (en moyenne), jusqu'à 65 m de hauteur, dans la pyramide.

1. Cette interprétation utilitaire de la Grande Galerie est personnelle à l'auteur et publiée dans son ouvrage en 1997. Elle fut explicitée pour la première fois à M. Vallogia, ingénieur en Génie Civil, Directeur de la chaire d'Égyptologie de l'Université de Genève, le 14/7/1994.

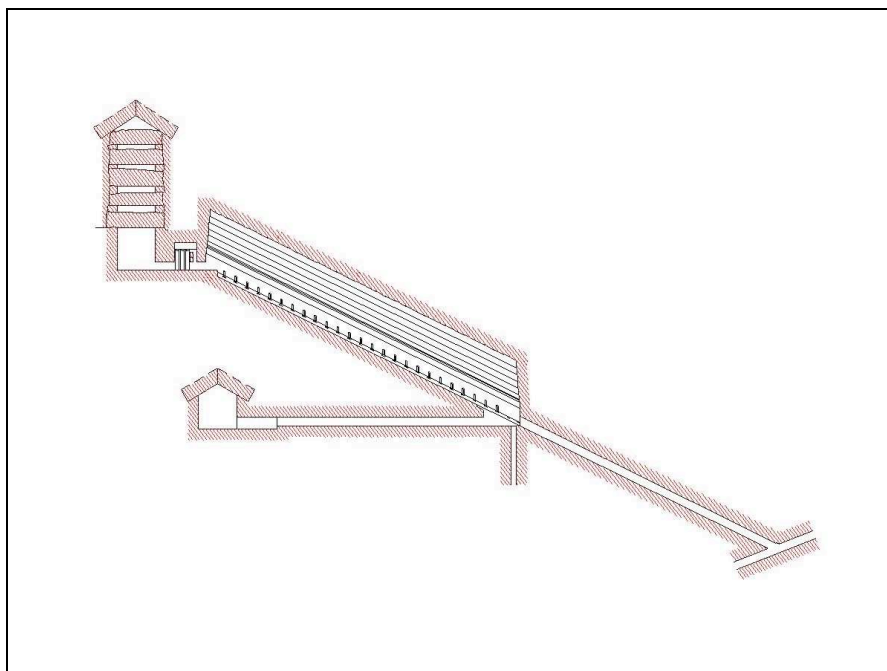


Figure 8. Schéma épuré montrant le couloir ascendant, la grande galerie (avec ses encoches latérales) et de l'antichambre qui renferment les herses.

Ces blocs tampons-contreponds (fractionnés) seront réarmés un par un à l'aide de la crémaillère et des trois herses (groupées) montées sur rouleaux, jusqu'en haut de la Grande Galerie, puis rempliront à nouveau leur fonction de contreponds, additionnés ensemble. On peut même penser que les herses de l'antichambre, montées sur rouleau pour leur manœuvre, auraient servi de contreponds (3×2 tonnes) pour réarmer les blocs tampons de 6 tonnes, sur la crémaillère. On a, en effet, de la peine à admettre que ces herses aient été montées sur rouleau si leur rôle était simplement de condamner définitivement la chambre du Roi, il aurait suffi de les caler en attente.

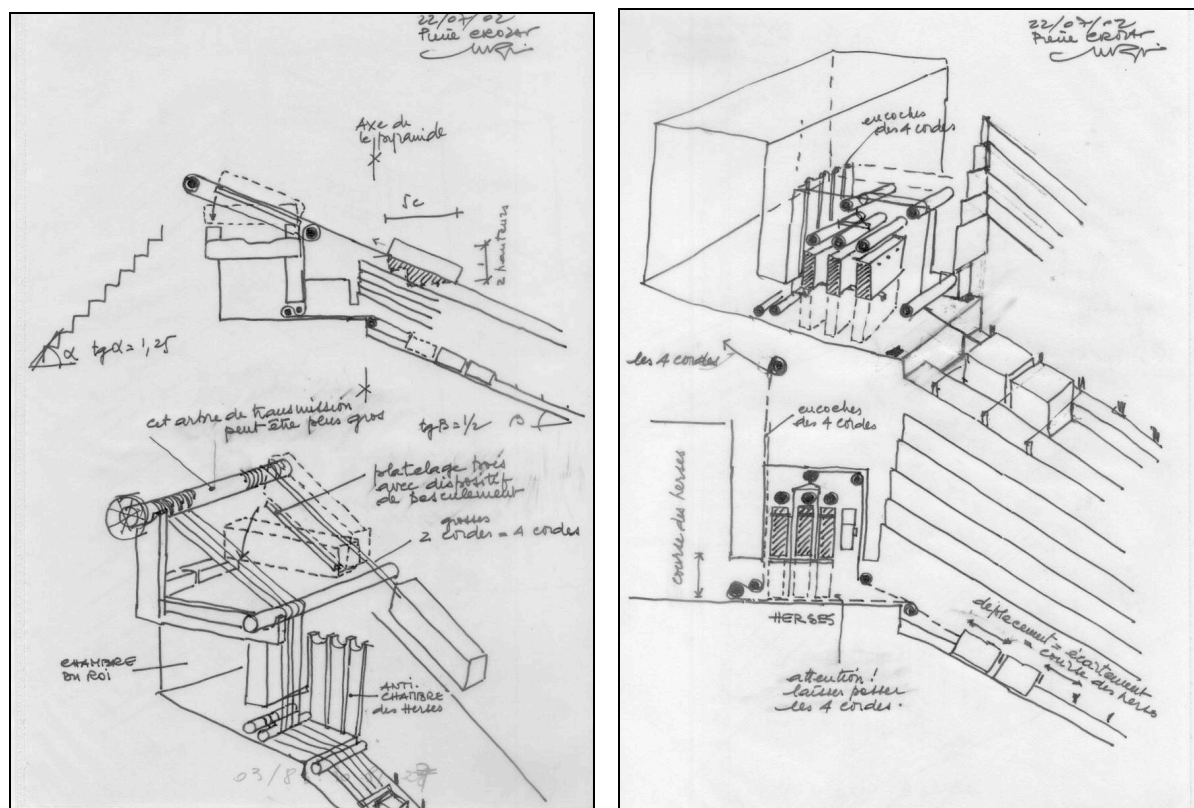


Figure 9. Croquis de fonctionnement : à gauche – mise en place des monolithes, à droite – réarmement des contre-poids (futurs bloc-tampon) © P. Crozat

L'ensemble de ces dispositifs sera réalisé « à ciel ouvert », et la Grande Galerie sera petit à petit recouverte (fausse voûte en encorbellement) au fur et à mesure de l'élévation du faisceau de plans inclinés, afin de ménager l'espace de manœuvre et de réarmement des contrepoids.

Tout ce dispositif sera ensuite englobé dans la pyramide par la poursuite de la construction sur les quatre faces, suivant le procédé « d'accroissement pyramidal » développé précédemment.

10. PROVENANCE DES MATERIAUX

Continuons la démonstration pour nous intéresser maintenant à la provenance des matériaux. D'après le postulat de départ, le matériau constitutif du massif de gros œuvre (à l'exception du granite de la chambre du Roi, du revêtement des couloirs et de la Grande Galerie ainsi que de la dernière enveloppe de la pyramide en calcaire blanc de Tourah) serait le calcaire local emprunté au plateau alentour et au plus près (en amont), par exploitation en carrière à ciel ouvert des strates horizontales, découpées en quadrillage (d'environ six coudées pour Khephren) par des tranchées de la largeur d'un ouvrier (une coudée royale), permettant d'extraire des blocs à construire par décollement des bancs de pierre - le démisage - à l'aide de leviers en force.

L'exploitation sera faite en fonction du système secondaire (diagonal) de fracturation naturelle des strates du plateau ; ceci expliquera l'implantation et l'orientation des trois grandes pyramides de Gizeh.

10.1. Rappel de l'hypothèse des carrières alentour

Du point de vue purement mathématique, le volume d'une pyramide est, chacun le sait, égale au produit de la surface de la base par sa hauteur, divisé par trois : $V = S \times H/3$

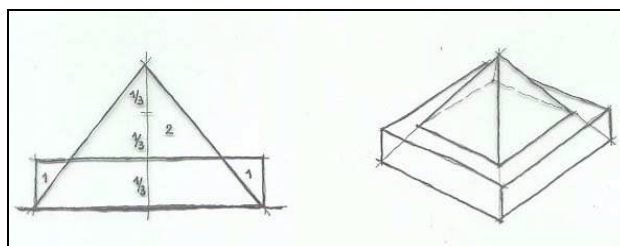


Figure 1. Volume d'une pyramide

Le parallélépipède carré ayant la même surface de base et le tiers de la hauteur, fait le même volume que la pyramide ; physiquement, techniquement, pratiquement et manuellement, il suffirait de ramasser tout ce qu'il y a autour et le mettre au centre et l'on obtient la pyramide.

On rejoint là, le principe énoncé comme postulat du « château de sable ».

Appliquons maintenant le raisonnement de façon récurrente. Le volume de chaque pyramide est égal au volume du parallélépipède carré de même base correspondant, on obtient ainsi (théoriquement) une série de carrières et pyramides emboîtées (figure suivante) qui se correspondent par égalité de volumes.

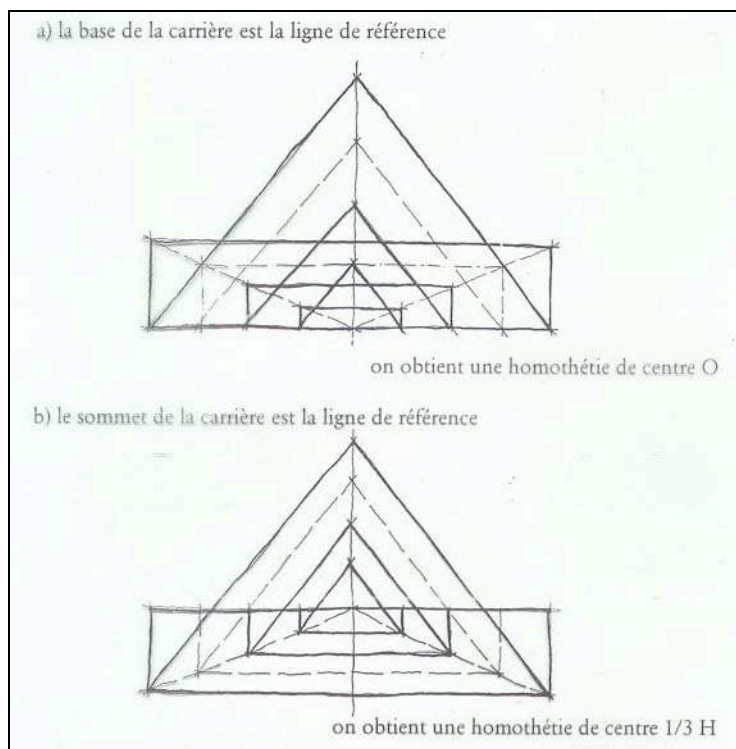


Figure 2. Série de carrières et de pyramides emboîtées

Si nous plaçons ce schéma (pour se rapprocher de la réalité) sur un plateau stratifié, on développe alors un mode (théorique) « d'accroissement pyramidal », correspondant à égalité de volumes, à une exploitation croissante des strates, exploitation de plus en plus large et de plus en plus profonde (figure suivante).

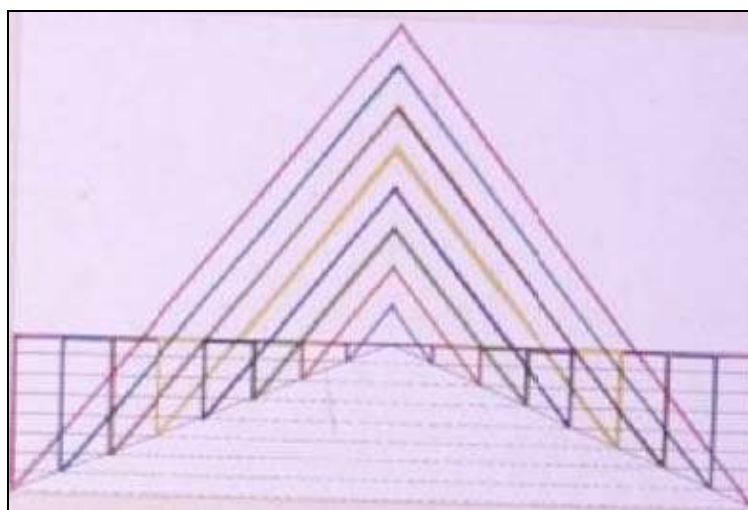


Figure 3. Pyramides et carrières emboîtées

L'enfant sur la plage ne fera pas autrement son « château de sable », en empruntant autour de plus en plus pour faire s'accroître son tas. Nous retrouvons, ici, pour ce qui concerne la construction de la pyramide, le schéma des enveloppes successives « en pelures d'oignon », système constructif « d'accroissement pyramidal » que nous avons développé précédemment à partir de la modélisation, correspondant à l'utilisation d'une « machine » telle que l'a écrit Hérodote.

Ce schéma récurrent peut tout aussi bien s'appliquer à une carrière dont la surface serait double de celle de la pyramide, cette dernière ferait alors 6 fois la hauteur de la carrière comme le montre la figure suivante.

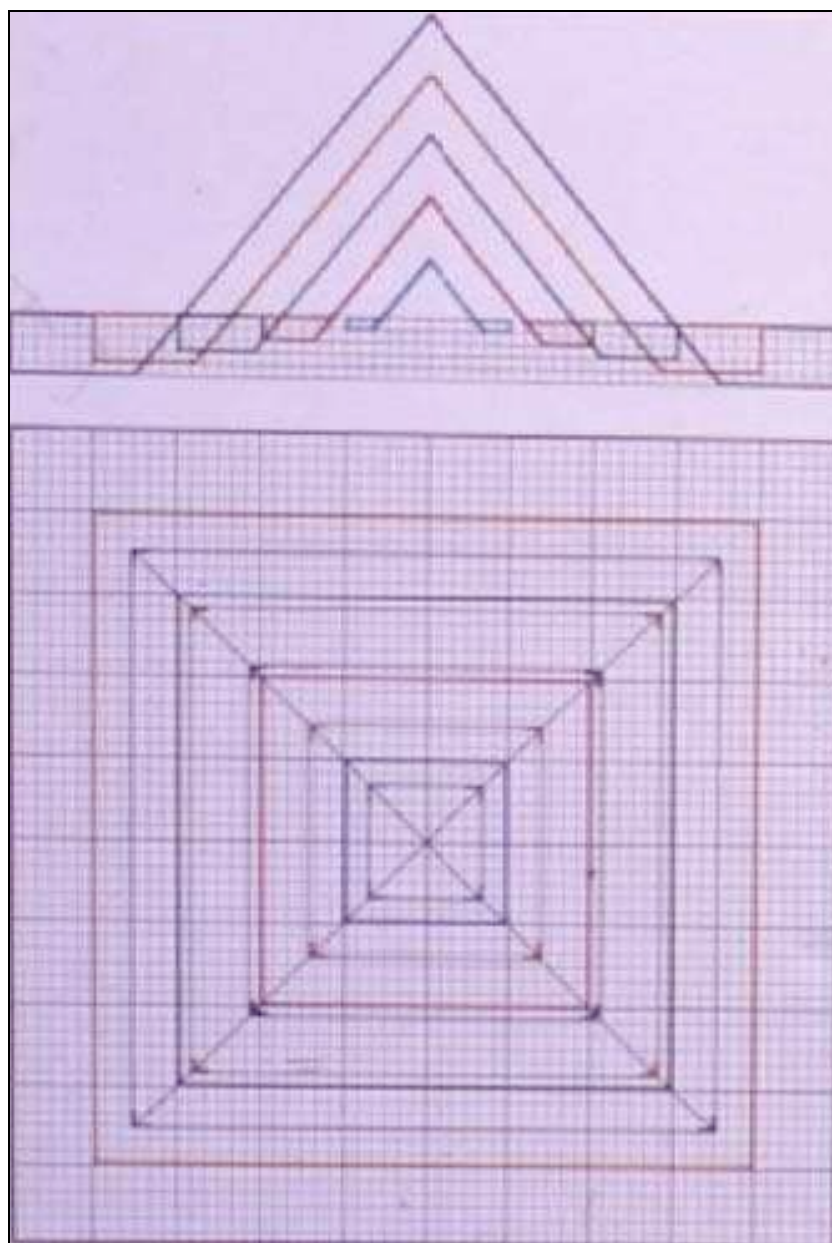


Figure 4. Cas où la carrière a une surface double de celle de la pyramide

Ce raisonnement récurrent, théorique, mathématique et physique, peut-il être adaptable aux conditions techniques et pratiques du Plateau de Gizeh ? Il y faudrait de nombreuses conditions, sans doute. Faisons cependant, une fois encore, le pari de ce référer à un modèle et de le confronter aux réalités archéologiques du site.

Dans cette hypothèse :

- la chambre de la Reine serait posée sur le sommet du massif rocheux (en fait au niveau des conduits d'accrétion, soit deux assises) ce qui explique le bout du couloir horizontal sans joints ;

- l'abaque d'exhaussement de la carrière, qui joint le centre d'homothétie (dans la chambre de la Reine) à l'affleurement au socle en périphérie, coupe le couloir ascendant légèrement au-dessus de la première « *girdlestone* », à l'endroit exact où le couloir est composé de blocs verticaux successifs littéralement percés par le couloir. Les blocs-tampons seraient donc enchâssés dans le massif rocheux, entaillé à cet effet ;
- la pyramide serait construite avec les blocs directement extraits des strates du plateau, d'où la variété des assises. Pour ce faire, il faudrait quadriller le plateau et exploiter de plus en plus large et de plus en plus profond ;
- le couloir horizontal, qui se prolonge virtuellement jusqu'aux chevrons chapeautant l'entrée de la pyramide, dans sa position finale du revêtement, indiquerait bien le niveau préexistant du plateau, révélant ainsi l'horizon.

Pour vérifier cette hypothèse :

- par l'observation, il suffirait d'une part, de bien observer le sol de la chambre de la Reine pour vérifier qu'elle est bien sur le rocher, d'autre part de rechercher, près de l'endroit où se trouvent les blocs-tampons, la présence du rocher au sol du percement d'Al-Mamoun ;
- par les mathématiques, de mettre en évidence l'algorithme qui règle l'extraction de la carrière et l'accrétion-exhaussement de la pyramide, ce que nous avons réalisé.

10.2. Méthodes d'extraction en carrières

Les roches calcaires - roches sédimentaires constituées de dépôts marins - sont constituées de couches successives ou strates plus ou moins épaisses et plus ou moins fracturées par les contraintes et mouvements tectoniques. Stratification et Fracturation sont tout à fait naturelles. Voici deux exemples particulièrement démonstratifs :

Les strates et la fracturation naturelles du gisement du Domaine des Tumulus de Bougon (Deux-Sèvres) sont fines et les pierres ainsi extraites alentour fourniront les matériaux des Tumulus comme le montrent les photographies de la figure suivante.



Figure 5. Domaine des Tumulus de Bougon : les pierres extraites seront empilées en tumulus

A contrario, les strates et la fracturation du plateau du Larzac au Pas de l'Escalette sont grandes, on peut le vérifier dans l'éboulis en pied de falaise (figure suivante). Les blocs qui se sont détachés et sont tombés ont naturellement la même forme parallélépipédique et les mêmes dimensions.

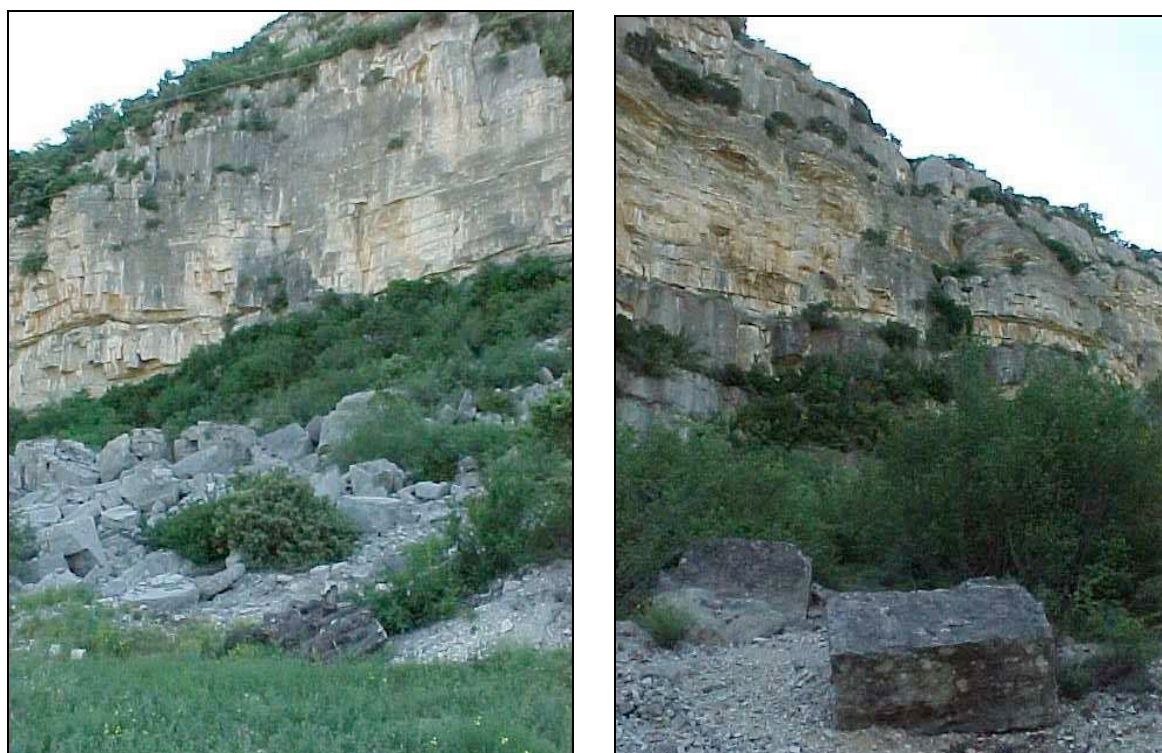


Figure 6. Larzac au Pas de l'Escalette: les blocs sont naturellement parallélépipédiques

De tout temps, aujourd'hui comme hier, la technique d'extraction met à profit la stratification et la fracturation naturelle des roches. Nul ne saurait faire fi de ces impératifs naturels sous peine d'extraire des blocs que se casseront à la première sollicitation ; et ce d'autant plus que

le mode d'extraction se fait par décollement. Cette méthode de décollement, appelée « démisage » en carrière, est ancestrale et universelle. On l'utilise encore aujourd'hui dans certains pays.

La technique de « démisage » évoluera en fonction de l'outillage. Elle laisse sur le sol de carrière et le dessous des blocs extraits des empreintes que l'on peut observer comme le montrent les exemples illustrés suivants.

Aujourd'hui, encore, on exploite en carrières, en surface et à ciel ouvert, en utilisant (par obligation) la fracturation naturelle des roches.



Figure 7. Exploitation en carrière horizontale à ciel ouvert, par Dj. Aïssaoui, à Tazarine (Maroc)

Il y a seulement trois décennies, dans une carrière de calcaire du Jura (ci-dessous), la technique d'extraction avait recours à des coins de fer, qu'on plaçait en force entre les strates. Les blocs se détachaient en fonction du réseau de fracturation naturelle, particulièrement repérable sur le carreau de la carrière par l'herbe qui ne pousse que dans les fissures.

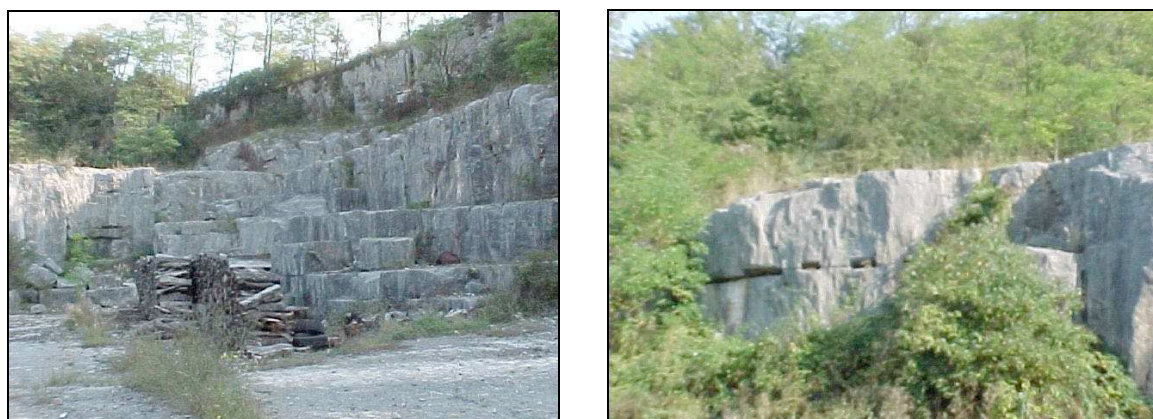


Figure 8. Carrière en coteau (abandonnée) exploitée par coins de fer (encore en place) à Dole

Chez les Romains, on réalise des encoches, au ciseau, entre les strates, dans lesquelles sont introduits en force des coins de bois, qui, mouillés, soulèveront les blocs. Ces derniers se détacheront selon la fissuration verticale la plus fine du massif rocheux, fissuration induite par les déformations d'origine tectonique.



Figure 9. Carrières romaines, les encoches d'extraction entre les strates laissent des empreintes (ici remplies d'eau), on aperçoit aussi la fracturation sur le carreau.

Chez les Grecs, on réalise des tranchées latérales et des trous (boîtes) dans lesquels introduire la tête du bras de levier (à talon) servant à démiser les blocs. Il reste au sol les traces des boîtes d'extraction, ici au sol de l'Acropole d'Athènes au pied du Parthénon.



Figure 10. Reliquats de carrières sur l'Acropole d'Athènes et traces des « boîtes » d'extraction.

10.3. Les reliquats de carrières sur le plateau de Gizeh

Des reliquats de carrières de ce type sont visibles au pied de Khéphren (carrière dégagée) et

de Mykérinos (carrière encore ensablée¹).

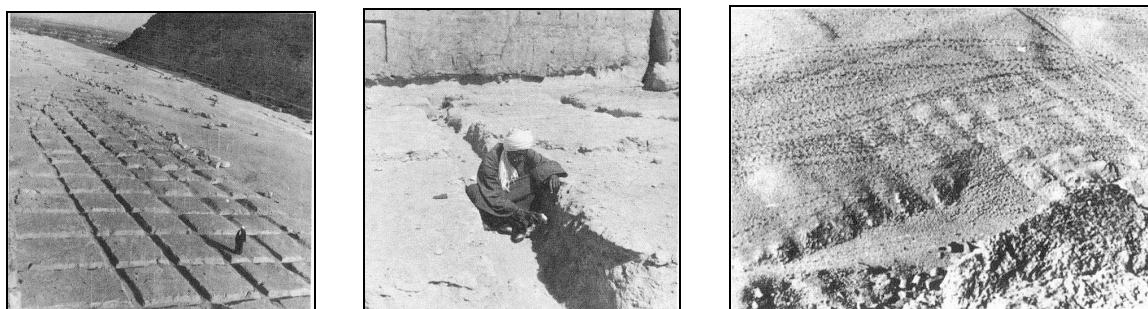


Figure 11. Reliquats de carrières au pied de Khephren et de Mykérinos (ensablées)

La photographie aérienne de la figure suivante est particulièrement intéressante. Elle nous montre les reliquats de carrières ensablées de Mykérinos, à l'angle Nord-Ouest de sa pyramide. A elle seule, cette image résume notre hypothèse sur l'emprunt des matériaux de construction au pourtour de l'ouvrage.



Figure 12. Reliquats de carrières (ensablées) au pied de la pyramide de Mykérinos

10.4. Les empruntes d'extraction

1. Ces reliquats de carrières ont été mis en évidence, photographiés et édités par V.Maragioglio et C.Rinaldi en 1965.

On retrouve un type d'empreintes analogue à celles évoquées plus haut, en grand nombre, sur la partie du plateau située à la périphérie des pyramides de Gizeh, dénommée « temenos » ou « péribole », ainsi que sous de nombreux blocs mis en place dans les pyramides. A. Pochan (1971) les avait remarqués, à juste titre, sorte de signes à angle droit, mais ne pouvait les interpréter.

En fait ces signes sont les empreintes laissées par l'exploitation des bancs de pierre, levés par la technique du « démisage » dont on retrouve les demi-encoches sur le temenos et sous les blocs dans la pyramide.

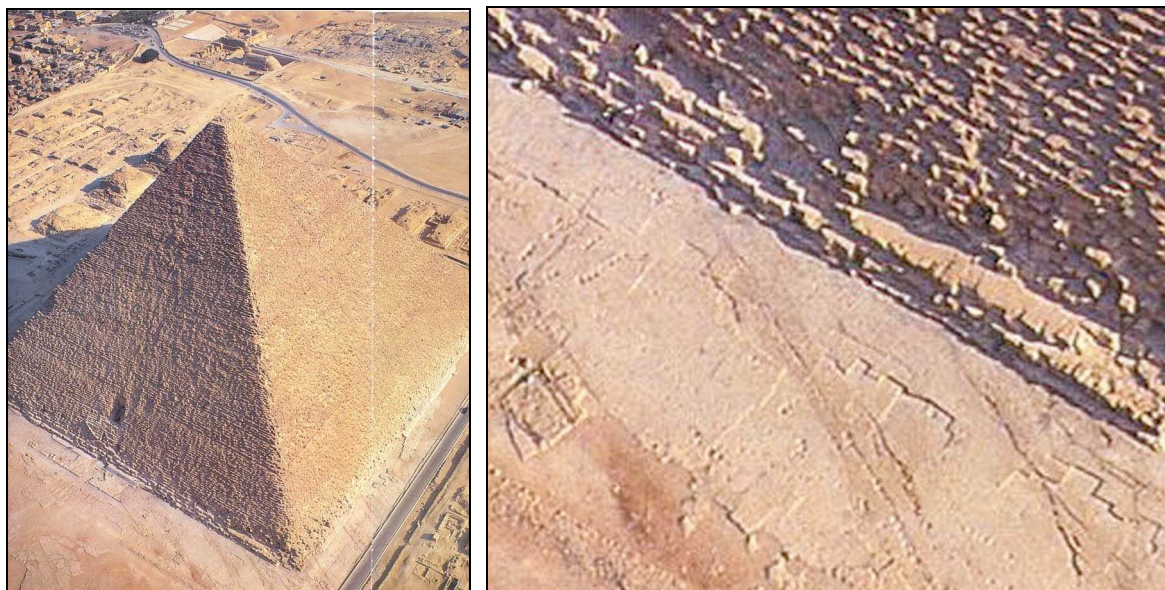


Figure 13. Empreintes d'extraction de blocs sur le téménos (surtout visibles sur l'image de droite)

Suivant ce principe, l'exploitation directe des strates du plateau de Gizeh, formant des bancs de hauteurs variables, impliquera, à l'évidence, des assises de hauteurs variées dans la pyramide, ce qui est bien le cas.

De ce fait, le jeu aléatoire de l'empilage des blocs de hauteur variable nécessitera d'assurer, pour des raisons élémentaires de statique, de bonne répartition et transmission des charges ainsi que d'ordonnancement, à chaque pose de « *crossai* », une surface d'assiette horizontale et plane, « réglée pour être bien assise ». Si nécessaire, on entaillera donc, à la demande, les blocs d'appui « *bomides* ».

C'est à ce moment précis que chacun des blocs de la pyramide passera d'une appellation à l'autre, de « *crossai* » à « *bomides* ». Ces entailles d'arasement ou d'assise sont facilement repérables à chaque niveau d'assises, ainsi qu'entre chaque enveloppe, ce que l'on peut constater sur le sommet et les arêtes dégradés de Khéops.



Figure 14. Entailles d'arasement des blocs du sommet de la pyramide de Khéops

10.5. L'appareillage horizontal à décrochement

Ce mode d'appareillage de pierres de gros appareil « mégalithique » ou « cyclopéen », considéré comme « le plus économique » selon A.Choisy (1904), est dénommé, en terme de Métiers, par les carriers, maçons et tailleurs de pierre¹ : « appareillage horizontal à décrochement ».

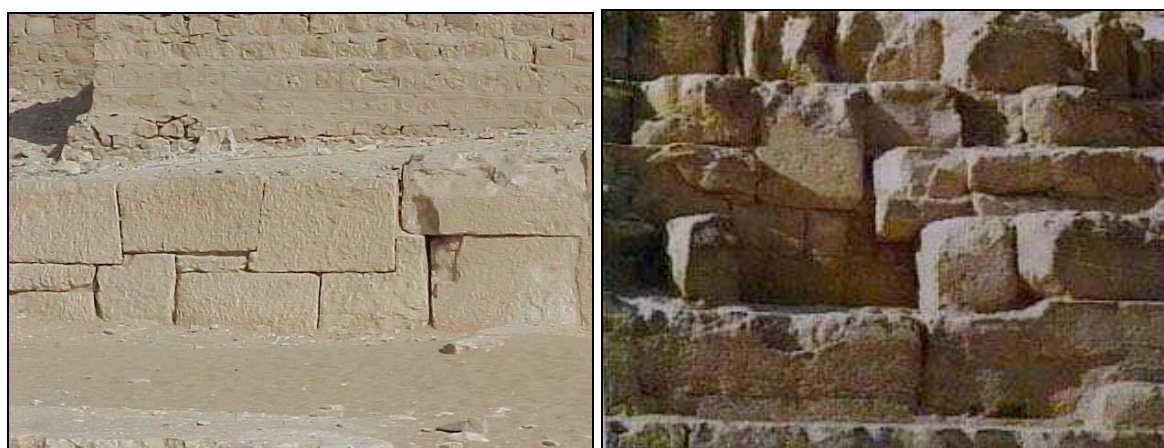


Figure 15. Appareillage horizontal à décrochement, le plus économique selon A. Choisy en mur (à gauche) en pyramide (à droite)

De fait, cette adaptation par « arasement » ou « garnissage » est obligatoire pour assurer la stabilité et la cohésion ainsi que l'horizontalité des assises, comme l'illustre la figure suivante.

1. Dénomination technique reprise dans l'Encyclopédie des Métiers (Association Ouvrière des Compagnons du Devoir du Tour de France). Ce type d'appareillage correspond bien à un gisement calcaire, en strates épaisses. Il convient de faire remarquer que les carriers de la IV^{ème} dynastie n'ont pas délimité les strates en blocs de moindre épaisseur, mais ont inventé la « machine » de levage qu'Hérodote n'a pas omis de citer.

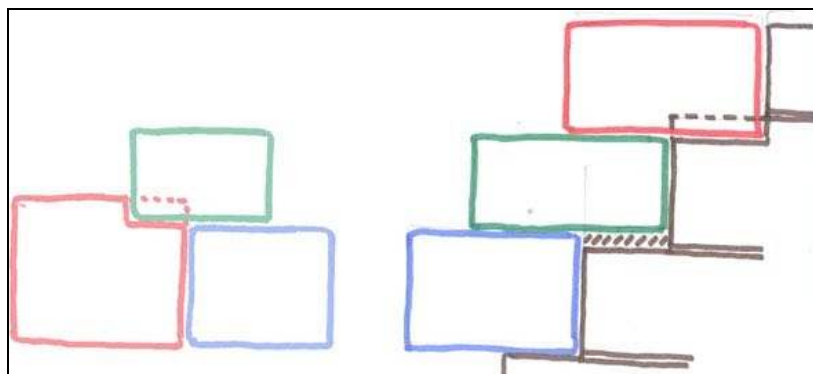


Figure 16. Schéma de l'adaptation obligatoire des blocs empilés

Les blocs mis en œuvre en pyramide, tirés directement de la carrière, peut-être légèrement dégrossis quand ils sont trop difformes, laissent souvent des joints importants entre eux qui seront comblés par un mortier rustique fait de sable (ferrugineux) provenant du site lui-même et de chaux qu'il est aisé de fabriquer sur place avec les déblais de carrières (creusement des tranchées). On repère facilement ce mortier de garnissage sur les pyramides de Gizeh.

Tout ouvrage de maçonnerie, d'empilage en général (la pile de bois par exemple) doit prendre en compte la variation dimensionnelle de ses éléments constitutifs et résoudre les problèmes posés. La réalité construite n'est jamais aussi pure que le modèle, faut-il pour autant refuser l'apport de la modélisation ? Les pierres sont-elles toutes identiques pour faire un mur, les rondins pour une pile de bois, les figues ou les oranges à l'étalage !

En serait-il différemment des blocs de la Grande Pyramide ?

10.6. Fracturation naturelle des roches

Du point de vue géologique, le plateau de Gizeh appartient à la Chaîne Libyque sur la rive occidentale du Nil, reliefs calcaires de l'ère tertiaire. Cependant la roche qui affleure sur le plateau de Gizeh lui-même, est constituée précisément d'un Calcaire à Nummulites d'âge Eocène moyen, plus ancien qu'alentour (où il est recouvert), facilement reconnaissable, que l'on retrouve de l'autre côté du Nil, et à la même hauteur, sous le Vieux Caire.

Ce plateau, sous l'effet des contraintes tectoniques s'est déformé en léger pli anticlinal dont les strates offrent un pendage léger vers le sud et plus atténué à l'ouest.

Comme c'est toujours le cas, cette déformation anticlinale dont l'orientation nous est donnée par la carte géologique du Caire et des Environs et les failles qu'elle indique, a eu pour effet de fracturer naturellement les roches du plateau, fracturation que l'on peut analyser selon le diagramme proposé par Ruhland (1972), à savoir une organisation des fractures dans les plis en double système que montre la figure suivante.

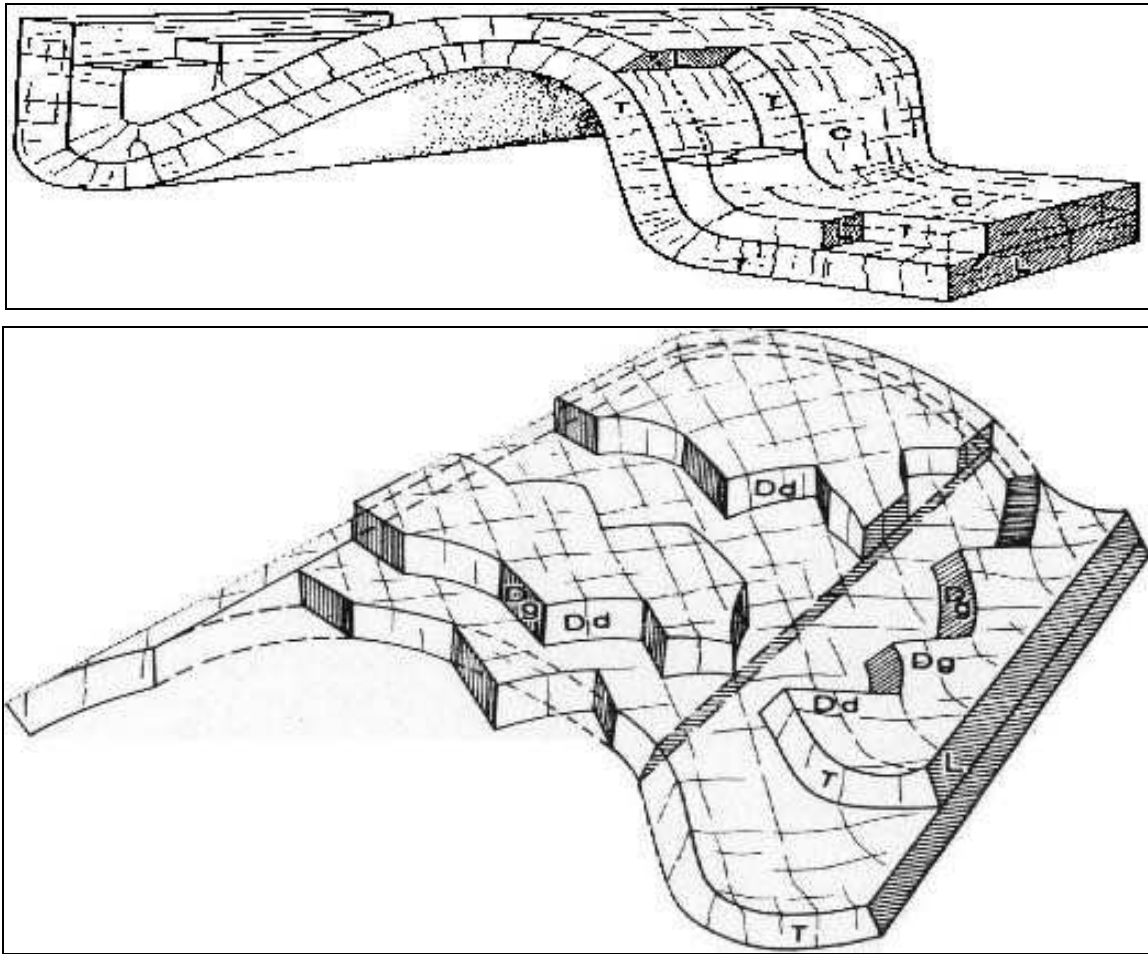


Figure 17. Schémas des deux systèmes superposés de fracturation naturelle des roches. Au dessus : système de diaclases parallèle-orthogonal à l'axe du pli. Diaclases longitudinales (L) parallèles à l'axe du pli et diaclases transversales (T) perpendiculaires à l'axe (système des grandes failles et diaclases facilement repérables sur le site dues à la déformation). En dessous : système de diaclases diagonales. Diaclases diagonales droites (Dd), diaclases diagonales gauches (Dg) par rapport à l'orientation axiale du pli (diaclases plus fines, moins facilement repérables dues à la compression latérale à l'origine du pli)

On peut donc en toute logique¹ s'autoriser à penser et prévoir que :

- les pyramides seront positionnées au sommet du pli anticlinal et alignées parallèlement à son axe, là où les strates sont les plus horizontales ;
- les pyramides seront orientées selon le système sub-orthogonal des diaclases diagonales comme l'illustre le croquis de la figure suivante

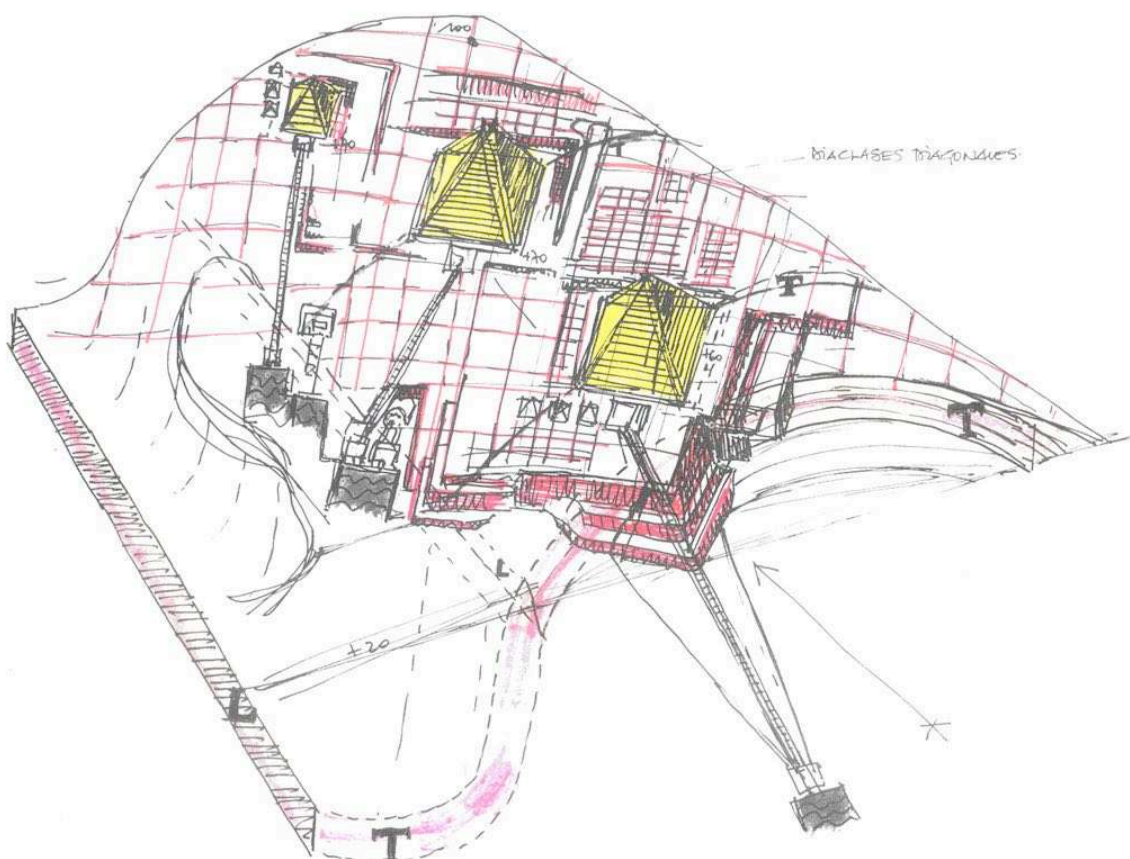


Figure 19. Esquisse de restitution du plissement tectonique du plateau de Gizeh, du système de fracturation naturelle des roches et de l'implantation et orientation des trois grandes pyramides.

En effet, la carte géologique indique l'orientation des deux failles longitudinale et transversale, il en résulte que l'axe du pli est orienté Sud-Ouest / Nord-Est, la ligne d'implantation des trois pyramides est donc bien parallèle à l'axe du pli, et que les pyramides sont orientées selon le réseau de diaclases diagonales soit Nord-Sud et Est-Ouest.

Cette conclusion prédictive, en forme d'hypothèse, reste néanmoins à développer, étudier et confirmer, par la recherche bibliographique, le relevé géologique in situ et l'établissement du diagramme de fracturation précis du plateau de Gizeh.

1. Contrairement à ce que l'on peut lire ou entendre, 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.

11. UN CONTINUUM TECHNIQUE

Notre approche ne saurait se limiter à la pyramide de Khéops, la plus imposante des merveilles du monde antique, qui n'est pas apparue ex-nihilo à Gizeh, sans être précédée par d'autres édifices d'une conception technique sans doute plus primitive mais qui la préfigurent néanmoins. Elle doit donc être applicable et vérifiable sur les édifices précédents et de proche en proche pouvoir montrer et démontrer un « continuum technique » évolutif qu'il convient de remonter jusqu'à son origine.

11.1. Principe de l'évolution technique

En effet, dans un même lieu et dans une même civilisation, et en l'occurrence compte tenu de la stabilité et de la continuité de l'Ancien Empire, l'évolution technique est inéluctable, du fait de l'expérience acquise, capitalisée et transmise, permettant des innovations, des essais, des expérimentations divers.

En effet, dans un même lieu et dans une même civilisation, et en l'occurrence compte tenu de la stabilité et de la continuité de l'Ancien Empire, l'évolution technique est inéluctable, du fait de l'expérience acquise, capitalisée et transmise, permettant des innovations, des essais, des expérimentations divers.

On peut même y voir là une loi fondamentale de l'évolution des techniques, observable tout au long de l'histoire des Ouvrages et de l'Art de bâtir, et sans doute de l'histoire de toutes les activités humaines. Apprendre de nos prédécesseurs et chercher à les égaler voire à mieux faire, semble être une constante de progrès, au moins chez les techniciens de la construction, pour autant que la motivation et les conditions soient réunies.

11.2. Les pyramides à degrés

Les Grandes Pyramides lisses de la IV^{ème} dynastie ont été précédées par les Pyramides à degrés de la III^{ème} dynastie, elles-mêmes précédées par les Mastabas des I^{ère} et II^{ème} dynasties. Elles seront suivies par les Pyramides à Textes des V^{ème} et VI^{ème} dynasties, plus petites et fragiles, aujourd'hui en mauvais état de conservation, puis les Pyramides de briques de la XII^{ème} dynastie elles-mêmes en très mauvais état, enfin les petites Pyramides de Méroë de la XXV^{ème} dynastie, dans l'actuel Soudan.

Plus précisément, les pyramides à degrés de la III^{ème} dynastie dont celle de Djoser à Saqqarah, que l'on dit avoir été construite par le célèbre architecte-médecin Imhotep, ne peuvent avoir été réalisées par empilement de mastabas superposés, comme nous l'explique en maquette J. Ph. Lauer. Seuls les Géants de la mythologie peuvent réussir un tel tour de force.

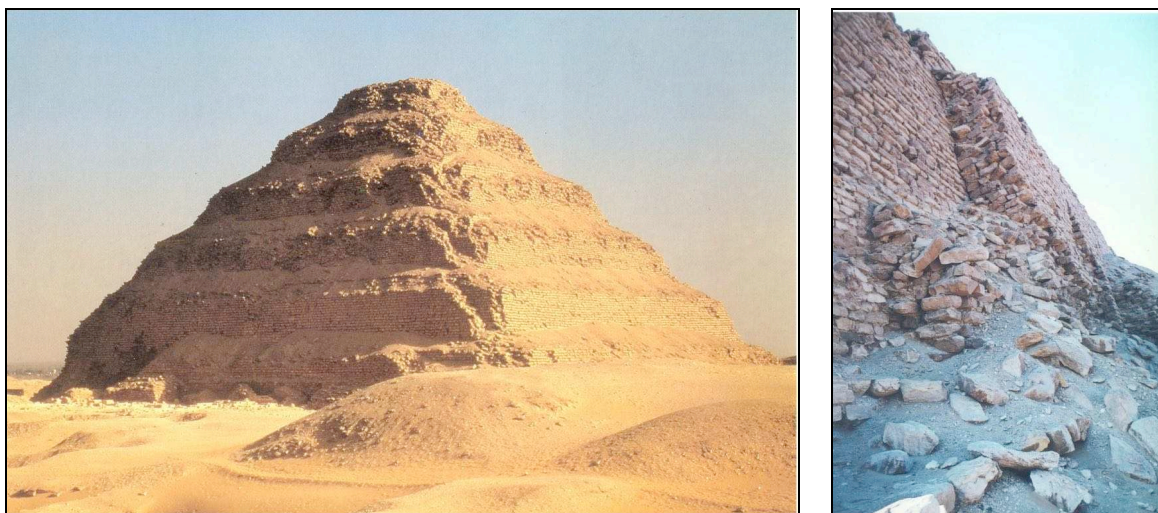


Figure 1. La pyramide de Djoser à Saqqarah (à gauche) et le détail des parées (à droite)

Par contre R. Lepsius, voici un siècle et demi, a mis en évidence les « murs successivement accolés à un pyramidion central », observations qu'on ne peut éviter de constater in situ. Il émettait alors sa fameuse méthode de construction dite « d'accrétion » tant décriée par les tenants des théories rampistes. Bien qu'elle n'ait jamais été explicitée dans le détail de son mode opératoire, cette méthode impose des murs successifs accolés, difficilement justifiables, voire même incompatibles avec l'utilisation d'une rampe quelconque. Seul le système « d'accrétion-exhaussement », de phases de constructions successives ajoutées pour faire accroître l'édifice, impose de réaliser des murs accolés tel qu'on peut les observer.

Les reliefs de pyramides à degrés dites « inachevées » par les rampistes, celle de Sekhem-khet ou celle de Zaouiêt el-Aryân par exemple, faisant apparaître clairement des murs concentriques accolés, sont en fait des pyramides à degrés démolies, peut-être par récupération des matériaux pour un autre usage.

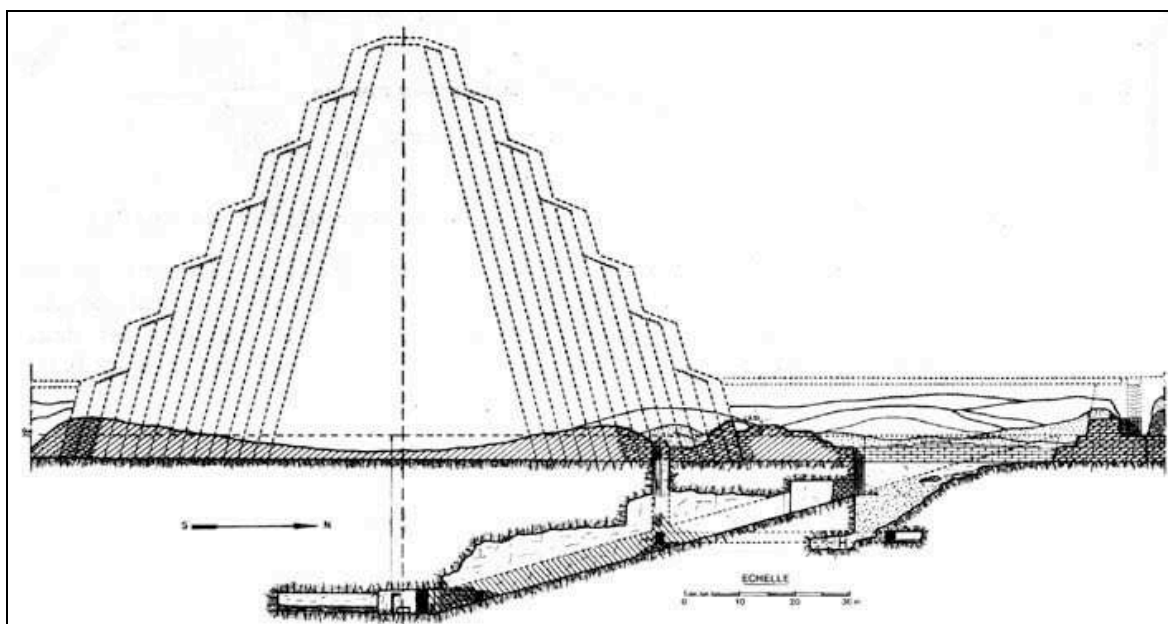


Figure 2. La pyramide « inachevée » de Sekhemkhet (d'après Lauer, 1988)

Et jusqu'aux petites pyramides à degrés, celles de Zauoiêt el-Maiétîn, de Nuobt, de El-Kôlah, de Silah, ainsi que le temple solaire d'Abou Gourab, tous ces édifices peuvent être explicités et compris suivant la méthode constructive « d'accrétion-exhaussement » comme des phases différentes d'accroissement d'un même projet, et non pas comme des projets différents dont les dimensions seraient préalablement définies.

11.3. Modélisation de la construction des pyramides à degrés

La pyramide de Meïdoum est une pyramide à degrés, qui pose problème. Le quadrilatère que l'on aperçoit au sol (figure suivante) aurait-il à voir avec la zone d'emprunt des matériaux? Rien n'est moins sûr. En l'occurrence, cette hypothèse reste à vérifier, in situ.



Figure 3. Vue aérienne de la pyramide de Meïdoum

Cependant l'état actuel de la pyramide permet de repérer les enveloppes successives ainsi que les traces de parties non ravalées que les archéologues expliquent par des tranches de maçonnerie qui auraient disparu. Cette interprétation nous semble juste et implique, d'après Borchardt, qu'il y aurait eu trois phases d'agrandissement. Pyramide à degrés attribuée à Houni, souverain de la IIIème dynastie (ou peut-être à plusieurs pharaons successifs, ce qui serait une explication des plus plausibles), le comblement des degrés et le revêtement final serait dû, dit-on, à Snefrou, premier souverain de la IVème dynastie. Ce pharaon serait alors le plus grand bâtisseur du monde puisqu'on lui attribue aussi les deux grandes pyramides de Dachour !

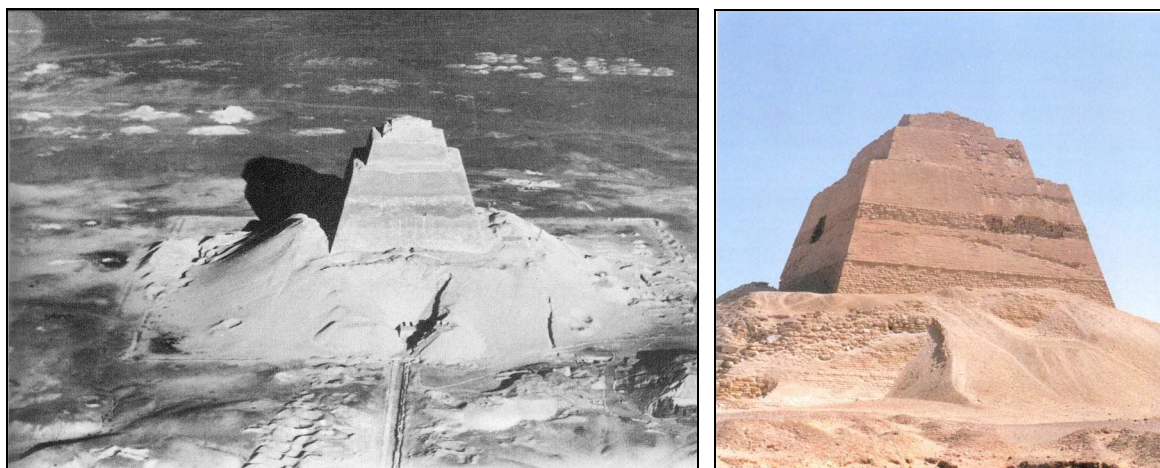


Figure 4. Vues de l'état actuel de la Pyramide de Meïdoum

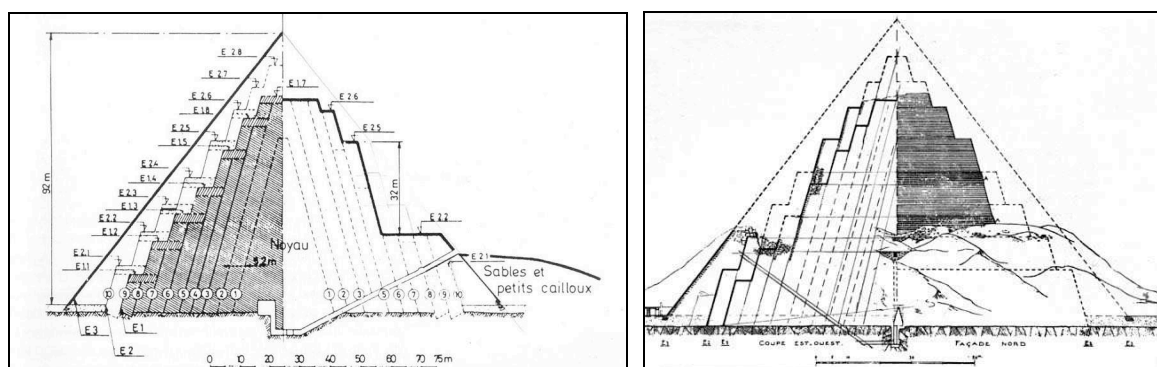


Figure 5. Dessin et interprétation des trois phases d'agrandissement de la pyramide de Meïdoum (d'après Borchardt, 1937)

Il faut avouer que cette pyramide à degrés, du fait de ses trois phases d'agrandissement, pose des problèmes de compréhension aux égyptologues en général et tout particulièrement aux auteurs et défenseurs des théories « rampistes ». En effet, J-Ph. Lauer, tenant de la théorie « à rampe frontale » pour les Grandes Pyramides lisses, tout au moins pour celle de Khéops, n'a jamais bien explicité le mode de construction des pyramides à degrés, en particulier celle de Djoser à Saqqarah qu'il a néanmoins particulièrement étudiée.

On l'a seulement vu, dans un film documentaire récent (film documentaire réalisé par J.-F. Delassus), poser, à la main, les étages d'une maquette à degrés, de plus en plus petits, les uns sur les autres, et nous montrer de plus les deux phases d'extension du monument.

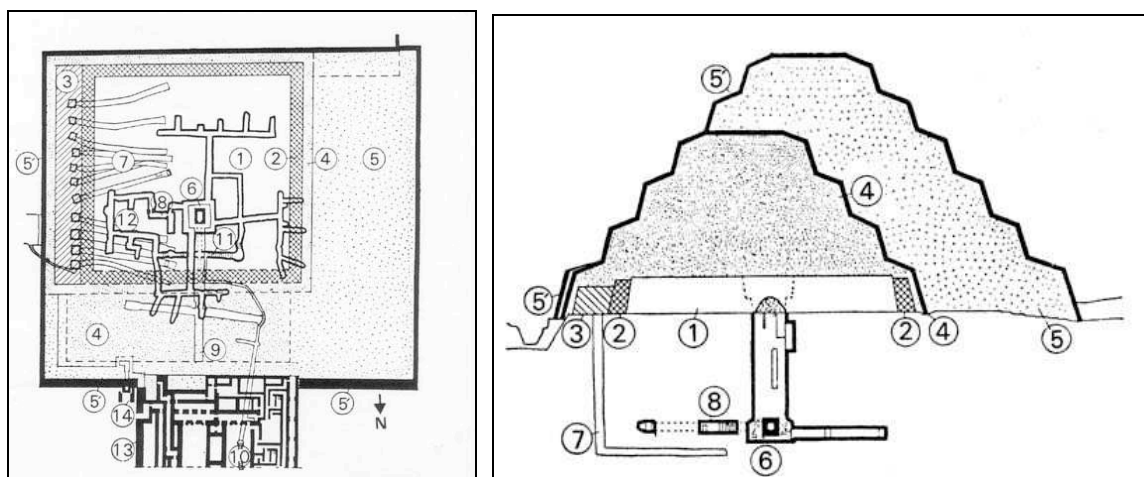


Figure 6. Plan et coupe des deux phases d'extension de la pyramide de Djoser à Saqqarah (d'après J-Ph. Lauer, 1988)

Dans le cas de la pyramide de Meïdoum, la solution « rampiste » aura nécessité - du fait des trois phases successives - la construction et la démolition de trois rampes successives ! De même, l'interprétation donnée par E. Guerrier (1981) ne peut s'appliquer (voir figures suivantes), sauf à utiliser alors le système « d'accrétion – exhaussement ». Pourquoi alors ne pas l'avoir utilisé dès le premier abord ! Peut-on encore défendre ces solutions ?

Nous pensons que les schémas de pyramides (Sekhemkhet par exemple), établis par R. Lepsius ou J-Ph. Lauer, mais aussi toutes les autres pyramides participent du même projet constructif et doivent être considérées comme des phases particulières arrêtées, peut-être même momentanément. En effet, la pyramide de Meïdoum (et celle de Djoser) aurait-elle été la seule à avoir été agrandie par phase ? On est en droit d'en douter.

On peut tenter de schématiser les différentes solutions proposées sur la base du même tracé donné sur la figure suivante.

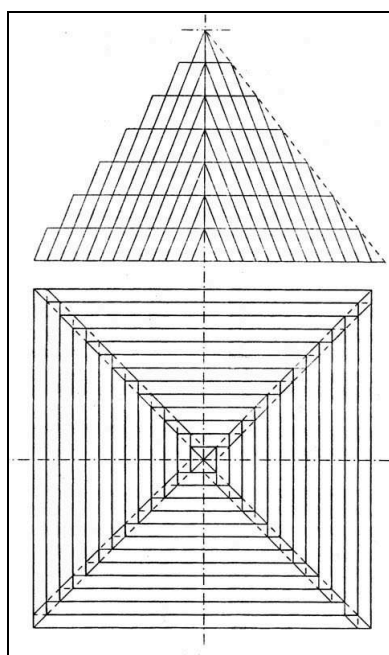


Figure 7. Tracé schématique d'une pyramide à degrés

Les figures suivantes illustrent les solutions proposées respectivement par Lauer (1988), Guerrier (1981), Choisy-Lepsius (1904). Dans ces figures, chaque couleur correspond à un état d'avancement de la construction.

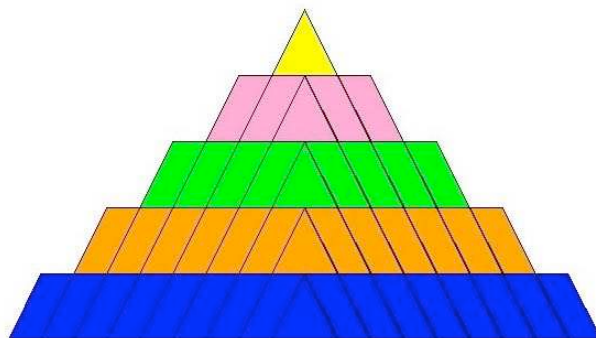


Figure 8. Solution proposée par Lauer

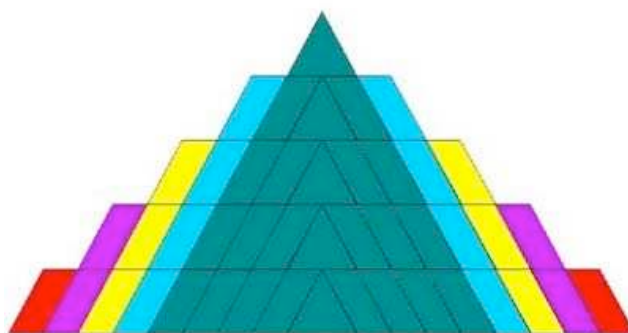


Figure 9. Solution proposée par Guerrier

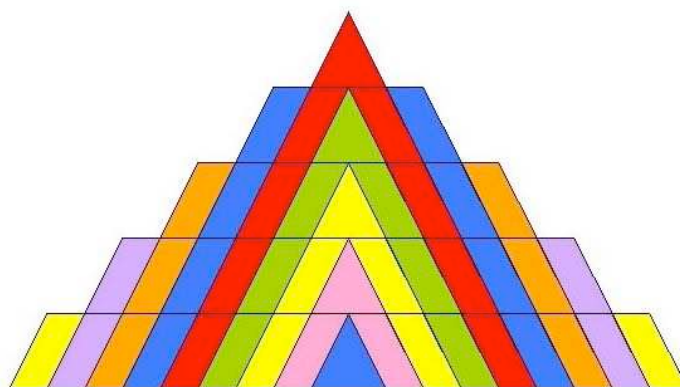


Figure 10. Solution proposée par Choisy et Lepsius

La solution que nous proposons est représentée sur la figure suivante. Elle est la seule solution qui tient compte des parées quadrangulaires concentriques repérée par les observateurs.

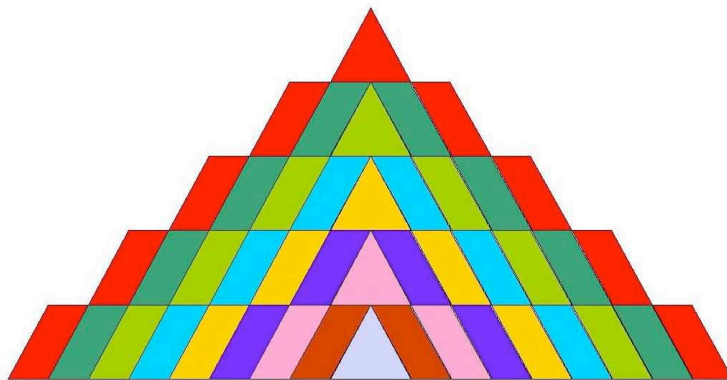


Figure 11. Solution proposée par Crozat

La modélisation info-graphique animée que nous avons réalisée peut se résumer aux figures suivantes. Sur la prochaine, le schéma de gauche correspondant au dessin proposé par A. Choisy (à droite).

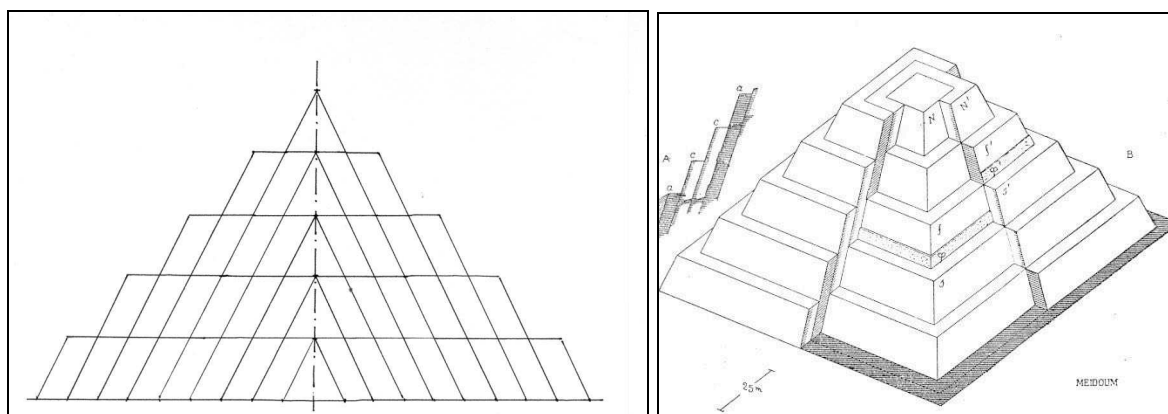


Figure 12. Schéma de modélisation que nous proposons (à gauche) et celui de A. Choisy (à droite)

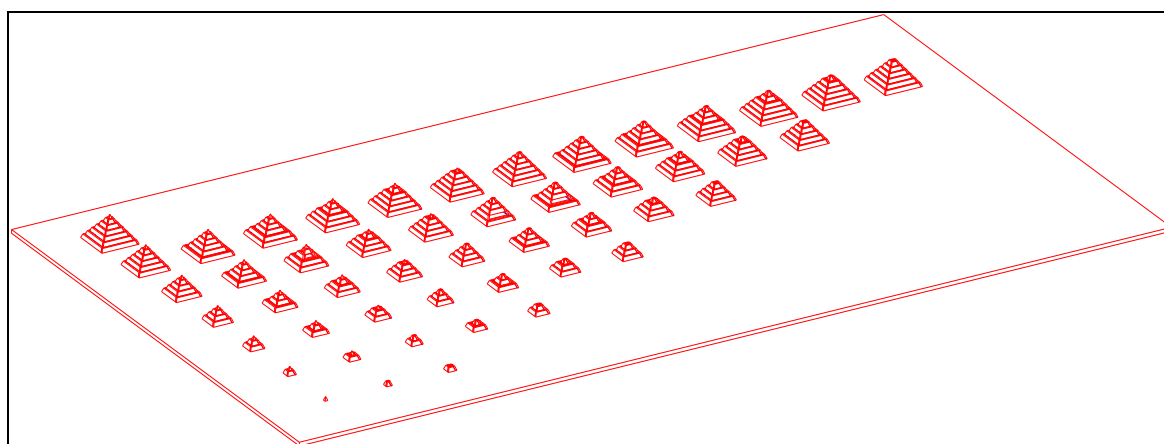


Figure 13. Ensemble des phases « d'accrétion-exhaussement » d'une pyramide à 7 degrés ayant servies à la simulation informatique animée (lecture à partir du bas gauche en allant vers la droite puis en passant à la rangée suivante).

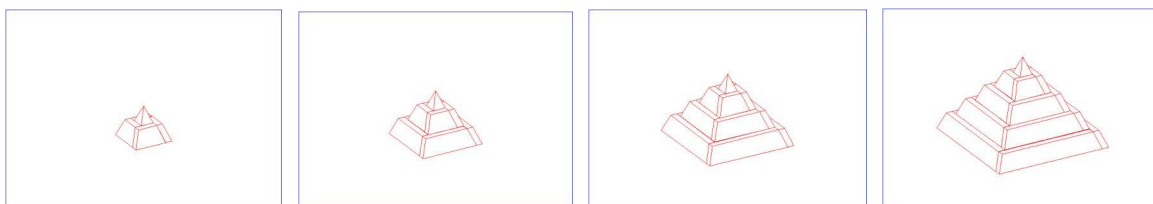


Figure 14. Extrait de la simulation informatique animée, réalisée par l'auteur (et G. Agonsé architecte)

Il est logique, c'est le contraire qui est impensable, qu'il existe une évolution des techniques de construction dans le temps entre ces différents édifices, ainsi que des procédés et des outillages, ou pour le moins un « principe général » qui soit commun à toutes ces ouvrages.

Parmi les grandes pyramides lisses elles-mêmes, il ne peut manquer d'y avoir évolution entre la première et la ou les dernières construites.

Cependant, comme l'a montré J-Ph. Lauer, les degrés de la pyramide de Meïdoum, avant la mise en place du comblement des degrés et le revêtement final (?), seraient de 7 mètres de hauteur, pour 3,5 m de largeur, avec un fruit de 2 m (figure suivante).

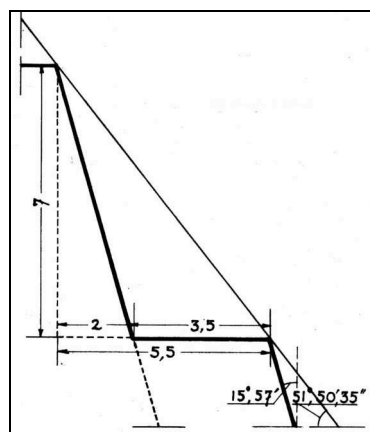


Figure 15. Profil en gradins E2 de la pyramide de Meïdoum, qui déterminera la pente de 14/11 de son revêtement final

Quelque soit l'angle final, la hauteur des degrés (7 mètres) aura nécessité un engin élévatoire ou un échafaudage adapté, ce que refusent sans doute les théoriciens « rampistes ». Cependant les ouvrages de fortification des villes, à l'époque, atteignaient déjà ces hauteurs. Il conviendra de rechercher les méthodes constructives de ces ouvrages défensifs pour les appliquer à la construction des pyramides à degrés. D'après N. Grimal, (1988) parlant de la fortification des villes et des techniques de construction des murs, dès la Période thinite (3150-2700) correspondant aux Ière et IIème dynasties, période des sépultures en forme de Mastaba, l'architecture civile et militaire nous montrent des réalisations, des ouvrages de « grande hauteur » : murs et tours de fortification des cités, palais, maisons d'habitation.

Les ouvrages atteignent 8 à 10 m de hauteur avec du « fruit », l'angle droit est utilisé, les redans de maçonnerie sont pratiqués qui aident à la stabilité voire à la construction, la grande échelle est attestée. Citons N. Grimal :

(p. 74, et fig. 18) « *Quoi qu'il en soit, on peut se faire une assez bonne idée de l'architecture d'après les représentations de forteresses, le plan de la Chounet ez-Zébib - la partie fortifiée*

d'Abydos- ou l'enceinte archaïque de Hiérakonpolis.

Pour l'architecture civile, on en est réduit essentiellement aux pions de jeux représentant des maisons et aux représentations de "façades de palais" des tombes. ».

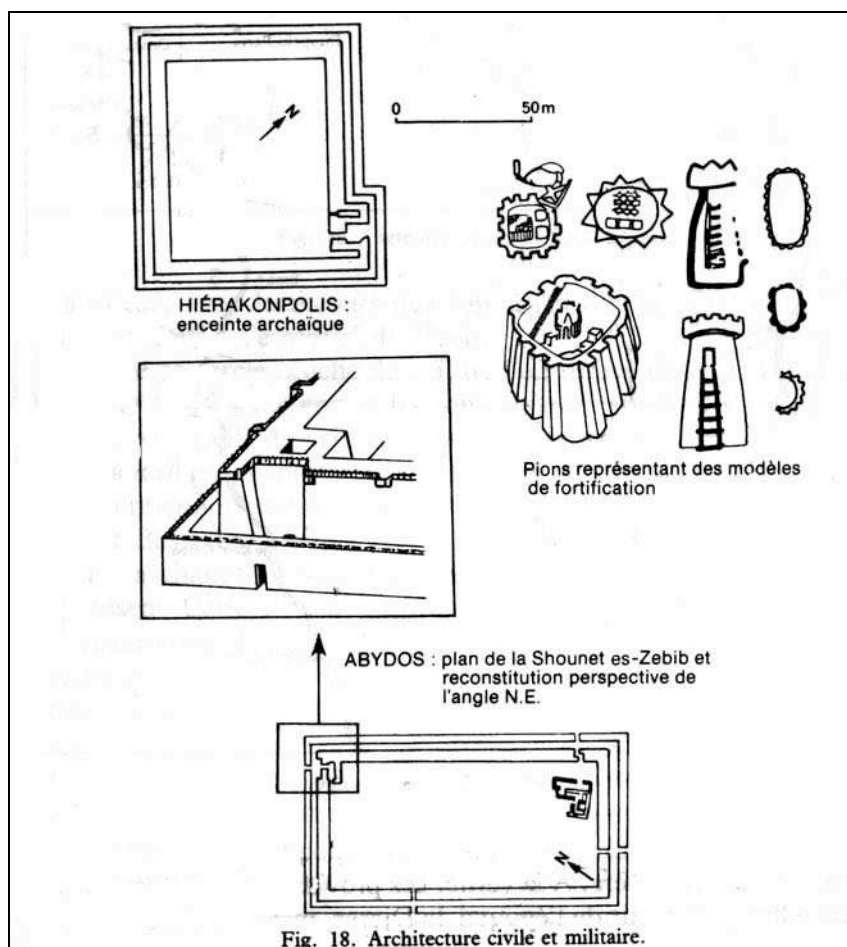


Figure 16. Fortifications de l'époque thinite (d'après N. Grimal, 1988)

Tous les éléments sont là, sur le plan technologique, à la fin de la Période thinite, pour savoir et pouvoir (le savoir-faire) réaliser des ouvrages tels que les pyramides à degrés dont les paliers ne dépasseront pas cette hauteur !

11.4. Les pyramides à texte

Pour l'heure, nous n'avons pas encore étudié de près les pyramides à texte. Des missions d'étude et de vérification futures pourraient apporter quelques précisions à leur sujet.

Sur la pyramide de Pépi Ier (VI^{ème} dynastie) que montre la figure suivante, on peut constater la présence de plusieurs parées concentriques de gros blocs de pierres appareillés et de backing-stones (qui comblent les degrés des parées) contenant un vulgaire cailloutis sans trop d'appareil qui doit être considéré comme étant le tout-venant du découvert de carrière (en surface). Le tout venant est contenu ou enserré dans un mur de gros appareil (de type cyclopéen) réalisé par des blocs provenant de la roche sous-jacente, les backing-stones étant

eux-mêmes revêtus d'une couche finale de revêtement, d'une autre qualité, plus fine, d'une autre provenance à déterminer.



Figure 17. Pyramide de Pépi Ier, composée de parées concentriques, backing-stones et revêtement

En fait, il semble bien que le postulat « exploiter alentour pour foisonner au centre » soit ce principe général recherché, et que les différentes pyramides, quelque soit leur système constructif, plus ou moins évolué, aient été toutes édifiées avec les matériaux disponibles sur leur site d'implantation : petit appareil pour les pyramides à degrés, gros appareil pour les pyramides lisses, blocaille enserrée dans les parées complétées par les « backing-stones » pour les pyramides à textes, et briques crues quand on se trouve dans des terrains argileux pour les pyramides de la XIIème dynastie.

Dès lors, l'implantation d'une pyramide ne peut se décider qu'en connaissance des caractéristiques du gisement et en fonction de la maîtrise technologique imposée par ces caractéristiques, tant en ce qui concerne l'extraction, le bardage et le levage, que l'appareillage et l'outillage correspondants.

11.5. L'anachronisme des pyramides d'Abousir

L'observance de ce principe général permettrait d'explicitier certaines questions non résolues.

Ainsi en est-il de la présence du système constructif à degrés (propre à la IIIème dynastie) pour les pyramides de Sahourê, Néferirkarê et Néouser-rê à Abousir (pharaons de la Vème dynastie) sous l'enveloppe finale qui comblera ces degrés. Il ne s'agit pas d'un anachronisme technique mais d'un choix imposé par les caractéristiques du gisement. Ce gisement, il conviendra de le vérifier, ne fournit que des blocs de petit module qu'on ne peut entasser

qu'avec le procédé à degrés mis en œuvre dans les pyramides à degrés de la III^{ème} dynastie, à savoir : « *des gradins, avec additions successives de tranches de maçonneries appliquées aux faces parées de ces gradins et parallèlement à elles* »¹.

La carte géologique apportera sans doute la réponse quant au gisement.

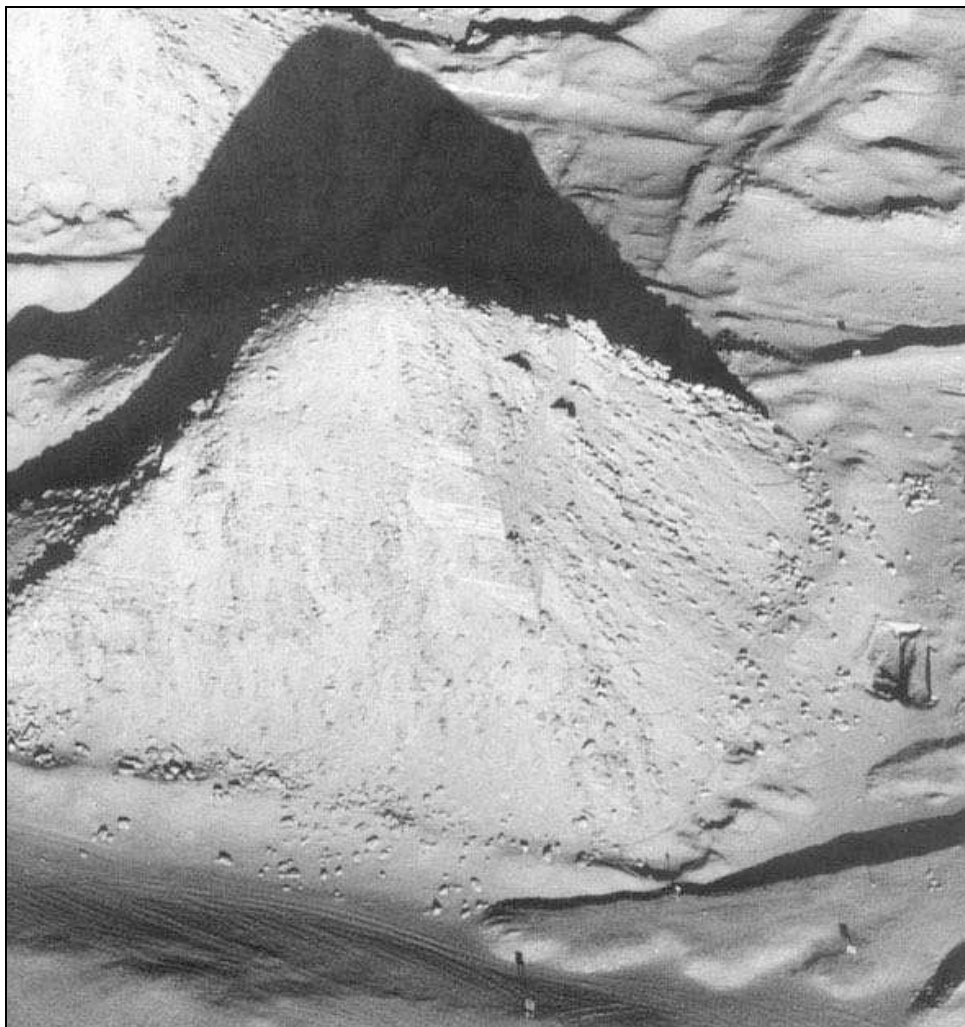


Figure 18. Les pyramides d'Abousir seraient-elles anachroniques (photographie de Marilyn Bridges dans « L'Egypte vue du ciel », Ed. Seuil, 1996)

11.6. L'évolution de l'outillage

Le procédé « d'accroissement pyramidal » des grandes pyramides apparaît alors en fait, comme l'adaptation technique à de gros blocs² calcaires (adaptation rendue nécessaire par les

1. Cette description de Lepsius nous est rapportée par J.Ph. Lauer (voir annexe 2) qu'il critique par la suite en ces termes : « Cette théorie très ingénieuse, mais par trop systématique, a été combattue à juste titre par divers auteurs, et principalement par Flinders Petrie ». Cette assertion démontre l'erreur permanente de son auteur, due justement à un manque d'esprit de système.

2. On pourrait dire cyclopéens, le fait est que d'après le postulat énoncé plus avant, la pyramide se trouverait sur et au milieu du gisement de matériau avec lequel la construire, la vérification devrait venir de l'étude des caractéristiques dimensionnelles

dimensions des blocs fournis par le gisement de Gizeh) du procédé « d'accrétion-exhaussement » des pyramides à degrés mettant en œuvre des modénatures moindres, observé et interprété correctement par R. Lepsius¹ et A. Choisy. Il y a bien là, évolution du procédé précédent, dû aux caractéristiques du gisement, à moins que ce ne soit l'inverse : les blocs extraits du plateau de Gizeh auront nécessité, de par leurs dimensions naturellement fournies par la fracturation, un niveau technologique de manutention et donc d'outillage que ne possédait pas encore la III^{ème} dynastie. Ce site n'était donc pas encore exploitable. Il s'agit pourtant du site d'implantation sans doute le plus prestigieux de toute la chaîne libyque.

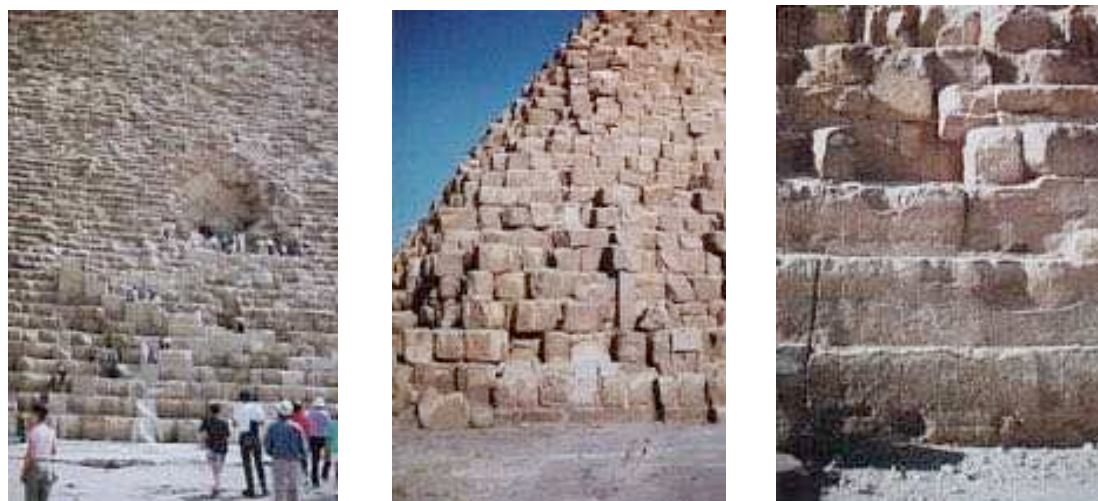


Figure 19. Khéops est constituée de gros blocs fournis par le gisement. On remarquera la fracturation naturelle du plateau, les encoches des coins d'extraction et l'appareillage « horizontal à décrochement ». Sur l'image de droite, on notera également que les deux premiers niveaux de la pyramide appartiennent au plateau et ne sont pas « construits ».

D'une façon générale, les pyramides de pierres² sont construites au milieu des carrières ayant fourni les matériaux. Cette disposition est observable pour la plupart des pyramides, par photographies aériennes, la plus probante étant la pyramide rhomboïdale³ de Snéfrou à Dachour- Sud, où la zone d'emprunt des matériaux pourrait correspondre au défoncé⁴ du sol (figure suivante), en périphérie, hypothèse qu'il conviendrait de vérifier in situ, par la comparaison du volume de l'emprunt périphérique et de celui de la pyramide.

et qualitatives des blocs de pierre extraits du gisement du plateau de Gizeh, au plus près.

1. Richard Lepsius définit l'accrétion, l'auteur proposera "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 Meïdum.

2. Ce doit être aussi le cas des pyramides de briques crues de la XII^{ème} dynastie, ainsi que, on peut le conjecturer, des ziggourats mésopotamiennes. 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 ou s'accroître » 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.

3. Voir la photographie aérienne réalisée par Marilyn Bridges et publiée dans son ouvrage « L'Égypte vue du ciel », p. 40, 1996, Editions du Seuil.

4. Selon l'interprétation de Kurt Mendelssohn (1974), cette précaution serait la conséquence du prétendu effondrement de la précédente pyramide, celle de Meïdum, attribuée elle aussi à Snéfrou.

Certains égyptologues interprètent ce défoncé comme le poinçonnement du plateau par la pyramide, occasionné par la surcharge de cette dernière qu'on aurait alors cherché à alléger en la tronquant, ce qui expliquerait sa forme dite "rhomboïdale".



Figure 20. Le défoncé périphérique de la pyramide ne serait-il pas la zone d'emprunt des matériaux?

En termes de résistance des roches, aucune charge ne peut occasionner un tel poinçonnement susceptible de provoquer un tel défoncé périphérique sur une telle surface.

11.7. Conclusion

Sans nul doute, les pyramides d'Egypte, dans leur ensemble, situent et décrivent différentes phases d'un « continuum technique ».

Cependant, nous voyons de cette évolution, avant tout technologique, non pas une évolution des formes (à degrés, lisses ou à textes), même si celles-ci évoluent de concert, comme résultante et non comme déterminante, mais une évolution des procédés constructifs, eux-mêmes dictés ou imposés par les caractéristiques des matériaux fournis par le site d'implantation.

En aucun cas, les matériaux constitutifs du gros œuvre des différents types de pyramides ne seront d'une autre provenance et/ou n'auront subi un quelconque transport ou une quelconque transformation ou découpe.

En fait, les grandes pyramides se situent sur des sites fournissant les gros blocs correspondants et les pyramides à degrés sur des sites fournissant des petits blocs.

L'anachronisme des pyramides d'Abousir (pyramides à degrés, revêtues ou comblés pour paraître lisses) s'explique simplement par la lecture du gisement que nous donne la carte géologique.

Néanmoins, si le mode constructif des pyramides à degrés est bien « en pelure d'oignons », la hauteur et l'épaisseur de ces degrés ne sont pas pour autant explicitées.

L'étude des ouvrages tumulaires qui précèdent les pyramides elles-mêmes, et ce, hors des limites de la civilisation égyptienne, devrait nous permettre, en remontant le « continuum technique », d'en saisir le mode opératoire « d'accrétion-exhaussement » et plus avant encore, le mode « générique » dans l'examen des ouvrages mineurs, premiers ou vernaculaires.

12. L'ACCRETION-EXHAUSSEMENT

L'étude des Ouvrages préhistoriques : aha, arma, monceau, amas et tas, quel qu'en soit l'utilité ou la motivation, montre que la technique de « l'accrétion-exhaussement » plonge ses racines beaucoup plus avant. On la rencontrera dans des réalisations construites de main d'homme sans autre outillage et machinerie, dès les premiers épierrements agricoles¹, les ouvrages défensifs ou les constructions, habitat ou sépulture, de pierres sèches, c'est à dire sans joint de mortier, qu'ils soient de petit ou de gros appareil, dès le début du Néolithique.

12.1. Principe générique de la construction par degrés

Le principe générique de la construction par degrés est à reconnaître dans les premières constructions du Néolithique - oppida et enceintes fortifiées, Cairns et Dolmens - et à découvrir dans les réalisations rurales les plus mineures telles que murs de culture en terrasse, épierrements ruraux et baraques de bergers.



Figure 1. Cairn de Gavrinis (Morbihan) et épierrement sur le Causse de la Selle (Hérault)

Les murs de soutènement des cultures en terrasse obéissent à des règles constructives simples : emprunt sur place, fruit du mur, appareillage à rupture de joints, hauteur maximum d'homme et si nécessaire « accrétion » d'un mur en pied pour « exhausser » le précédent.

1. Les Cahiers du Cercle d'Histoire et d'Archéologie des Alpes Maritimes - Henri Geist avec lequel l'auteur collabore, a effectué et publié un vaste recensement typologique des constructions de pierres sèches, dans lequel puiser.



Figure 2. Murger de vignes et mur de soutènement de terrasse à degrés. Il faut monter sur le second pour pouvoir exhausser le premier, etc.

La méthode, dite « d'accrétion-exhaussement », est récurrente, elle « génère » la construction par degrés, par enveloppes successives. Les degrés sont anthropométriques et de nombreux exemples préhistoriques¹ nous le montrent existant dans la préhistoire.

Les degrés n'ont donc pas pour « raison » de conforter, d'étayer ou contrebuter² le noyau central de départ, ils constituent le mode générique du tas, servant à la fois d'échafaudage pour s'y tenir à pied d'œuvre et pour approvisionner les pierres à empiler.

12.2. Du Vernaculaire au Génie des Ouvrages

Il semble nécessaire de préciser maintenant quelques principes premiers relatifs au Génie des Ouvrages en général, qu'il s'agisse de génie civil, militaire, religieux ou rural. Ces principes sont observables tout particulièrement dans les temps anciens à l'époque où les moyens techniques étaient des plus rudimentaires, mais aussi plus récemment, dans des conditions approuvantes de précarité de moyens, à savoir :

- en plus des lois de la gravité, de la statique et de la résistance des matériaux qui régissent l'Art de bâtir, la loi fondamentale du travail humain semble bien être fondée sur la recherche d'économie d'effort et l'utilisation d'un outillage approprié qu'il faudra inventer au besoin.
- l'utilisation des ressources en matériaux disponibles sur le site est générale ; c'est à dire que l'on construira en argile, boules ou bûches d'argile, briques crues ou cuites sur un sol argileux, en pierre sèche là où elle affleure, en bois là où il abonde. Ce principe fondamental est celui du vernaculaire : utiliser ce que l'on trouve à

1. le rempart d'Etaule (Côte d'Or), les tumulus de Bougon (Deux-Sèvres), le cairn de Barnenez (Finistère), le dolmen de la Joselière à Pornic (Loire Atlantique) et même les barracas de Minorque du siècle dernier, en sont des illustrations probantes.

2. Contrairement à l'explication diffusée habituellement par l'archéologie (« Des DOLMENS pour les MORTS » - de Roger Joussaume, 1985). 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.

disposition sur place. L'étude des constructions vernaculaires, de par le monde, offre une analyse crue, véridique mais explicite des ouvrages et de l'architecture.

- les édifices de type tumulaires préhistoriques et historiques mettant en œuvre des quantités importantes de pierre, sans autre moyen que le travail à main d'homme, pour l'extraction, la manutention et la construction, sont essentiellement constitués des matériaux empruntés au site d'implantation, au point que l'on ne trouve jamais un tel édifice ailleurs que sur son propre gisement ; la présence du gisement est essentielle à sa localisation.
- on peut même remarquer que ces tertres, tumulus et autres dolmens sous tumulus à caractère « religieux » sont de plus situés à l'endroit où le gisement est le plus propice à être exploité, la pierre la plus facile à extraire.
- « exploiter alentour pour foisonner au centre » en est le mode « générique » et les zones d'emprunt des matériaux sont a priori repérables et même souvent encore visibles sur le site d'implantation, alentour et au plus près selon la règle de l'économie d'effort.
- le mode de construction est régi par une méthode qui évoluera dans le temps, de « l'accrétion » horizontale, puis « l'accrétion-exhaussement » en élévation par degrés et enfin « l'accroissement pyramidal », mais toujours par enveloppes successives, en pelures d'oignons, en fonction de la dimension des pierres utilisées et de l'évolution de l'outillage et des engins de levage.
- le type d'appareillage est alors directement fonction des caractéristiques, dimensions, formes et qualités des blocs mis en œuvre et des engins de manutention correspondants.
- sans autre moyen que manuel, l'élévation d'un mur ne peut excéder la taille du maçon, la hauteur d'homme. Pour sur-élever (exhausser) l'ouvrage il faudra ajouter (accréter) un nouveau mur en pied, accolé au précédent, formant degré intermédiaire, servant d'échafaudage au maçon pour être à pied d'œuvre et à l'acheminement des matériaux nécessaires, et ainsi de suite ; ce qui constitue la méthode de construction par degrés.
- un mur de soutènement de culture en terrasses, en pierre sèche, pour contenir les poussées répond à deux règles simples de construction : les joints doivent être croisés et le mur doit être légèrement incliné vers l'amont.
- tout mur de maçonnerie, surtout en pierre sèche, c'est à dire sans mortier, est construit à joints croisés, cette disposition assurera la cohésion et l'homogénéité de la maçonnerie.



Figure 3. Murs de soutènement de cultures en terrasse à Nice (Alpes Maritimes)

12.3. Exemples d'édifices à degrés

Quelques exemples parmi une multitude permettront d'argumenter et d'étayer cette analyse :

- le cairn de Barnenez (Finistère)
- le dolmen de la Joselière à Pornic (Loire Atlantique)
- le tumulus Fo de Bougon (Deux Sèvres)
- le mur défensif d'Etaule (Côte d'Or)
- les barracas de Minorque (Baléares)
- les épierrements de Cipierre (Alpes Maritimes).



Figure 4. Cairn de Barnenez (Finistère) et mur défensif d'Etaule (Côte d'Or)

En fait, la technique est toujours la même : « monter et approvisionner pour construire sur ce qu'on vient de construire ». Autrement dit se servir de l'édifice comme échafaudage.

Sans autre outillage et moyen que la manutention à bras, on peut construire de hauteur d'homme, ensuite, il faudra "accréter" au pied une nouvelle parée afin de pouvoir monter dessus pour pouvoir « exhausser » la première, toujours dans les limites anthropométriques, et ainsi de suite.

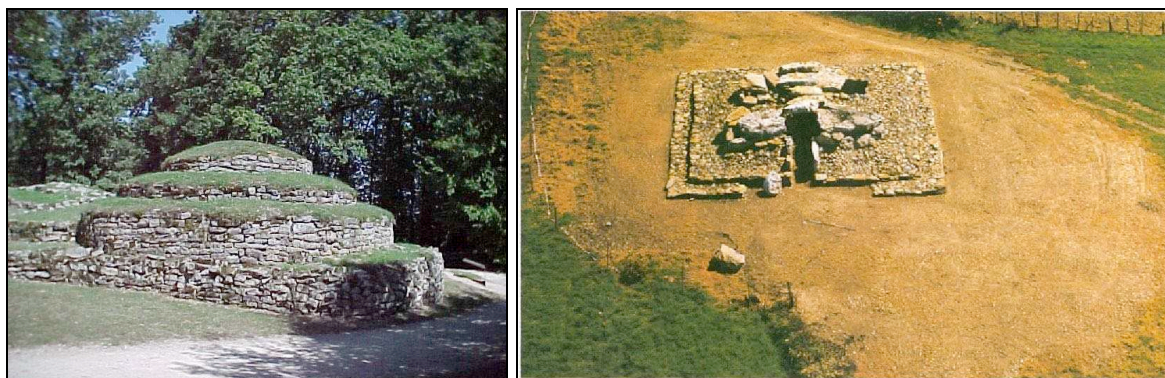


Figure 5. Tumulus Fo de Bougon (Deux Sèvres) et dolmen de la Joselière à Pornic (Loire Atlantique)

Ainsi s'instaure un procédé constructif récurrent, que l'on arrête et reprend à volonté, générant des enveloppes successives « d'accrétion-exhaussement » formant des degrés en escalier, de hauteur maximum la hauteur d'homme et de profondeur minimum la largeur d'homme, permettant au maçon d'œuvrer au pied du mur et au manoeuvre d'approvisionner les matériaux et les acheminer.



Figure 6. Barraca de Minorque et aire de battage de Cipierre (Alpes Maritimes)

Qu'ils soient épierrement agricole, ouvrage défensif, habitat ou sépulture, les « accrétions » concentriques sont nécessaires, non pour contrebuter l'édifice mais pour le construire en hauteur « l'exhausser ». Contrairement à l'interprétation habituelle, les degrés ne doivent pas être lus et compris par tranches horizontales superposées les unes aux autres, mais comme un système additionnel d'excroissances par pelures successives formant escalier-échafaudage, ajoutées à un noyau premier au centre de la base ou mieux une chambre circulaire qui se refermera en encorbellement. A ce titre l'analyse du tumulus Fo (le plus ancien) du domaine de Bougon est à rapprocher, par delà 7000 ans, des Barracas de Minorque, dont les dernières furent construites au début du XXème siècle, selon le même procédé.

12.4. Epierrements ruraux

C'est en fait le principe premier de la construction, et les épierrement agricoles en sont la meilleur démonstration. L'épierrage d'un champs, étant donné la persistance du labour et la performance sans cesse accrue des outils aratoires, nécessite le travail de nombreuses générations, ainsi que le stockage en épierrement dans ou sur le coté du champs : murgers, terrasses, clôtures, amas ou tas, tumuli, etc.



Figure 7. Épierrement horizontal de Sault (Vaucluse) et épierrement à degrés de Cipierre (Alpes Maritimes)

Ce tas de pierres sèches devra, bien évidemment, occuper le moins de surface au sol, et le seul moyen sera alors de contenir ou enserrer les plus petites pierres à l'intérieur d'un mur appareillé en parement réalisé avec les plus belles pierres, jusqu'à hauteur d'homme, puis ensuite de rajouter une deuxième parée enserrée dans son mur de parement, sur laquelle monter, et ainsi pouvoir continuer l'accrétion-exhaussement du tas.

12.4.1. *Épierrement enserré de Sault*

Cet épierrement est enserré par un mur appareillé, réalisé avec les pierres les plus grosses, enserrant le cailloutis en vrac, ce qui permet de réduire à un tiers son emprise au sol. Il est sans doute construit en plusieurs phases d'accrétion concentriques, de hauteur d'hommes. Tous les murs de clôture sont aussi des épierrements dus à l'épierrage des champs de culture, toujours de hauteur d'homme au maximum par rapport au terrain épierré.

12.4.2. *Mur de soutènement de terrasse à degrés*

Ce mur de soutènement, construit en 1979-80 à Redortiers (Alpes de Haute Provence) par Pierre Martel (publié dans la revue Les Alpes de Lumière n° 89/90 Pierre sèche en Provence), a ceci de particulièrement démonstratif qu'il est réalisé à deux degrés, imposés par la méthode de construction anthropométrique, le second degré (le plus petit) étant ajouté au pied du premier (ne dépassant pas alors la hauteur d'homme) pour permettre, servant dès lors d'échafaudage, la poursuite de la construction jusqu'à la hauteur désirée.

Si le dénivelé avait été plus grand que deux hauteurs d'homme, il aurait fallu rajouter un troisième degré au pied du second, et ainsi de suite.

Cet ouvrage de pierre sèche, construit sans autre outillage que les mains de Pierre Martel et d'une massette, retrouve, de ce fait, la méthode ancestrale "universelle" qui, seule, permet d'élever un ouvrage en montant dessus !

12.4.3. Aire de battage de Cipierre (Alpes Maritimes)

Cette aire de battage, construite sur un versant, a été réalisée par un épierrage du champ, proche de la ferme.

Elle offre la vision d'un mur courbe à deux degrés enserrant l'épierrement. La hauteur du mur augmentant avec la pente, il a été nécessaire d'adjoindre un second mur au pied du premier pour servir d'échafaudage au maçon et pour acheminer les pierres, à pied d'œuvre. Ces degrés ne sauraient, là encore, dépasser la hauteur des épaules du maçon et avoir moins que la largeur d'homme pour pouvoir y travailler.

En aucun cas le but du second parement est de conforter le premier, et ils ne sont pas liés entre eux, mais indépendants, étant réalisés non pour conforter mais pour échafauder.

La méthode dite « d'accrétion-exhaussement », basée sur l'anthropométrie, consiste à faire, à la demande autant que de besoin, de nouveaux murs de parement sur lesquels monter pour continuer la construction des murs précédents, quand on atteint la hauteur d'homme qu'on ne peut dépasser.

A notre avis, cette aire de battage est entièrement constituée de murs successifs : parements appareillés contenant le cailloutis, de la même technique constructive qu'un épierrage.

12.4.4. Epierrement à degrés de Cipierre (Alpes Maritimes)

L'intérêt majeur de cet épierrement, construit sur un versant, est de montrer sa structure interne faite de murs de parements successifs enserrant le cailloutis.

Ces parements appareillés utilisant les plus grosses pierres de l'épierrage du champ réduisent en partie la surface du tas d'épierrement au sol, mais sont avant tout les degrés qu'implique la méthode « d'accrétion-exhaussement ».

12.4.5. Murs de soutènement de cultures en terrasse à Nice (Alpes Maritimes)

Ces murs de soutènement de terrasses de culture, réalisés de main d'homme, ne pouvant dépasser la hauteur d'homme (ses épaules), seront donc d'autant plus rapprochés que la pente du sol s'accroît, jusqu'à ressembler une vraie muraille à degrés. Ces aménagements de culture en terrasses ne sont pas très anciens, sans doute d'après l'An 1000 et jusqu'au siècle dernier, ils sont l'ouvrage de générations successives de paysans, tous mus par le même souci de gagner et retenir la terre, pour la cultiver.

Ce principe de « culture en terrasse » est « universel » ainsi que la « méthode de construction » anthropométrique, dans le monde entier, toutes les civilisations et de tous

temps. Il n'y a pas d'autre moyen de faire, le déblai servant de remblai.

12.5. Cairn, Dolmen et Fortifications

12.5.1. Cairn de Barnenez en Plouezoch (Finistère- France)

Un des plus vieux monuments mégalithiques du monde, il fut édifié vers le milieu du Vème millénaire avant J.C., en deux phases successives A et B éloignées de 2 à 3 siècles, il contient 11 dolmens à couloir.

Les travaux de fouilles ont mis en évidence la structure même du cairn par l'observation de murs internes en gradins bien appareillés, en pierre sèche, qui maintiennent l'ensemble du cairn. La zone d'emprunt des matériaux est bien visible alentour.

Il est construit comme un épierrement à degrés, enserré dans des murs successifs, de hauteur d'homme, selon la méthode « d'accrétion-exhaussement ».

En effet, les gradins, nécessaires à la construction elle-même du cairn, servent d'escalier-échaffaudage, pour l'approvisionnement en matériaux et le travail du maçon « au pied du mur ». Les dimensions des gradins successifs seront obligatoirement anthropométriques, hauteur maximum et largeur minimum du maçon à l'ouvrage, puisque cet édifice est construit à mains nues, sans recours à un quelconque engin de levage.

Les dimensions mêmes des matériaux pierreux mis en œuvre ne pourront dépasser les possibilités de manutention du maçon de pierre sèche, hormis les monolithes des dolmens qui seront l'objet du travail conjugué d'un groupe d'individus.

On comprend aisément que la zone d'emprunt des pierrailles constitutives du cairn (la carrière d'extraction) est à rechercher aux alentours immédiats de l'édifice, au plus près et au plus simple, étant donné la quantité de la masse à mettre en œuvre. Chacune des deux phases successives de construction semblent correspondre à deux types de pierres différentes, indiquées par la Carte géologique de Plestin-les-Grèves (1/50000) :

- de la métadolérite de Barnenez amphibolite de Plestin (roches plus ou moins métamorphiques) verte
- du granite alcalin à grain fin porphyré rouge-beige,

deux types de roches éruptives de formation hercyniennes (300 millions d'années). Il serait intéressant de pouvoir vérifier si cette différence de matériaux correspond effectivement à un filon au sol, seule une étude géologique fine pourra confirmer (ou infirmer) notre hypothèse.

Le choix du site d'implantation du monument ne saurait impunément faire fi de la présence et de la qualité/quantité du gisement pierreux, bien souvent une crête collinaire où la roche est délitée (en l'occurrence des roches plus ou moins métamorphiques) ou un gisement de pierres plates facilement exploitables, au point que la présence, l'implantation et l'orientation du tumulus ont plus à voir avec le gisement qu'avec tout autre critère. Car, a contrario, l'absence d'un gisement adéquat in situ interdit toute possibilité de réaliser un tel ouvrage.

Ce mode de raisonnement semble bien avoir valeur universelle, en ce qui concerne les

constructions de type tumulaire, en pierre ou en terre, ainsi que l'architecture dite vernaculaire, qui mettent en œuvre une grande masse de matériaux locaux avec un minimum d'effort et un maximum d'économie de moyens.

Dès l'aube de l'humanité, « le principe d'économie d'effort et de moyen » est observé dans toutes les constructions de toutes les cultures, de même que la gravité est la même, la statique et la résistance des matériaux, c'est à dire les premières « règles de l'art », aussi.

Bien évidemment ces masses tumulaires réclament une telle quantité de travail qu'il ne peut s'agir que de l'œuvre cumulée de tout un groupe social organisé, hiérarchisé et motivé. On peut même penser que la taille de l'édifice à quelque chose à voir avec la quantité de travail, qui dépendra du nombre d'acteurs et de la durée, voire de la qualité de la motivation.

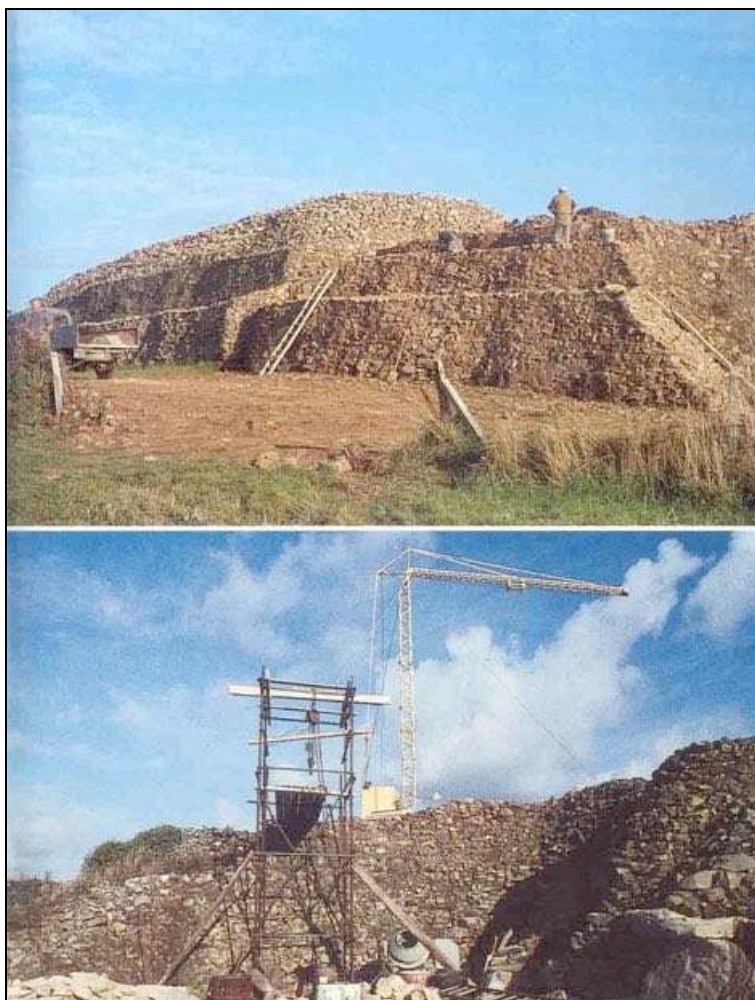


Figure 8. Cairn de Barnenez en réfection (!)

L'utilisation de l'outillage de notre époque (grue, échafaudage, brouette, échelle, etc.) privera les archéologues-fouilleurs de la compréhension « manuelle », de la cinétique et de l'anthropométrie de la méthode de construction par degrés. La preuve en est le trop-plein de pierres stocké sur le second cairn. Les degrés n'ont pas pour raison d'être de conforter le tas (même si c'est le cas), mais de le construire, il aurait suffi d'y mettre la main, sans autre moyen technique, pour retrouver obligatoirement ce système constructif ancestral et universel.

La formule lapidaire qui dit « qui peut le plus, peut le moins » est là encore prise en défaut !

12.5.2. Cairn de Gavrinis (Morbihan, France)

Cairn à degrés de plan presque carré, construit au début du IV^{ème} millénaire : ses pierres sont structurées par un réseau de parements maçonnés à sec et disposés en écailles.

12.5.3. Dolmen de la Joselière à Pornic (Loire-Atlantique, France)

La particularité de ce dolmen à double transept est d'être constitué de deux enveloppes, et d'être construit sur plan carré. L'état actuel du tumulus ne permet pas de connaître le volume final de l'édifice, cependant celui-ci suggère précisément la méthode « d'accrétion-exhaussement » par enveloppes successives qui sera utilisée ensuite pour les pyramides à degrés, en Egypte et ailleurs, deux mille ans plus tard.

12.5.4. Les remparts superposés du Châtelet d'Etaule (Côte d'Or)

Ce rempart a été construit en cinq phases successives du Néolithique moyen à l'Age du Fer, complété par une palissade de bois.

On remarquera dans cet ouvrage défensif l'application de la méthode de construction par degrés, dite « d'accroissement – exhaussement », dont les degrés ne sauraient dépasser la hauteur et la largeur être inférieure à celle de l'homme, dans la mesure où cet ouvrage de pierre sèche est réalisé à main nue, compte tenu de la modénature de l'appareil manu-portable directement fourni par l'exploitation du gisement local en affleurement.

Les différentes phases de construction sur plusieurs siècles participent toutes du seul et même procédé « d'accrétion-exhaussement » et d'exploitation du gisement pierreux local, par emprunt des matériaux au plus pratique et au plus près.

12.6. Capitelles, murs et Barracas de Minorque

L'ensemble des constructions (murs et barracas) est réalisé à partir de l'épierrage des champs pour leur mise en culture. Le matériau est donc pour ainsi dire gratuit, si ce n'est l'effort de l'homme pour le ramasser, l'entasser et le mettre en œuvre dans ces constructions rurales économiques. Tout est alors régi par le travail humain, sans autre appareillage que ses capacités anthropométriques (dimensions, poids, hauteur de pose) et son ingéniosité technique. En effet, cette technique de mise en œuvre (coupole en encorbellement) ne nécessite aucun cintre intérieur, ni même un échafaudage extérieur. Le procédé constructif des parements successifs ajoutés à l'extérieur, dès lors que la hauteur d'homme est outrepassée, « forme » un escalier « d'accrétion-exhaussement » qui génère la construction et donc la forme même de l'édifice à degrés.



Figure 9. Parements intérieurs indépendants d'une Barracas et Capitelle du Salagou (Hérault)

Les parements successifs ne sont pas liés les uns aux autres mais simplement juxtaposés, il est aisé de constater le « trait de sabre » entre chaque pelures, enveloppes qui les rendent indépendantes, dû au fait qu'ils sont sur-ajoutés autant que de besoin pour refermer l'encorbellement.

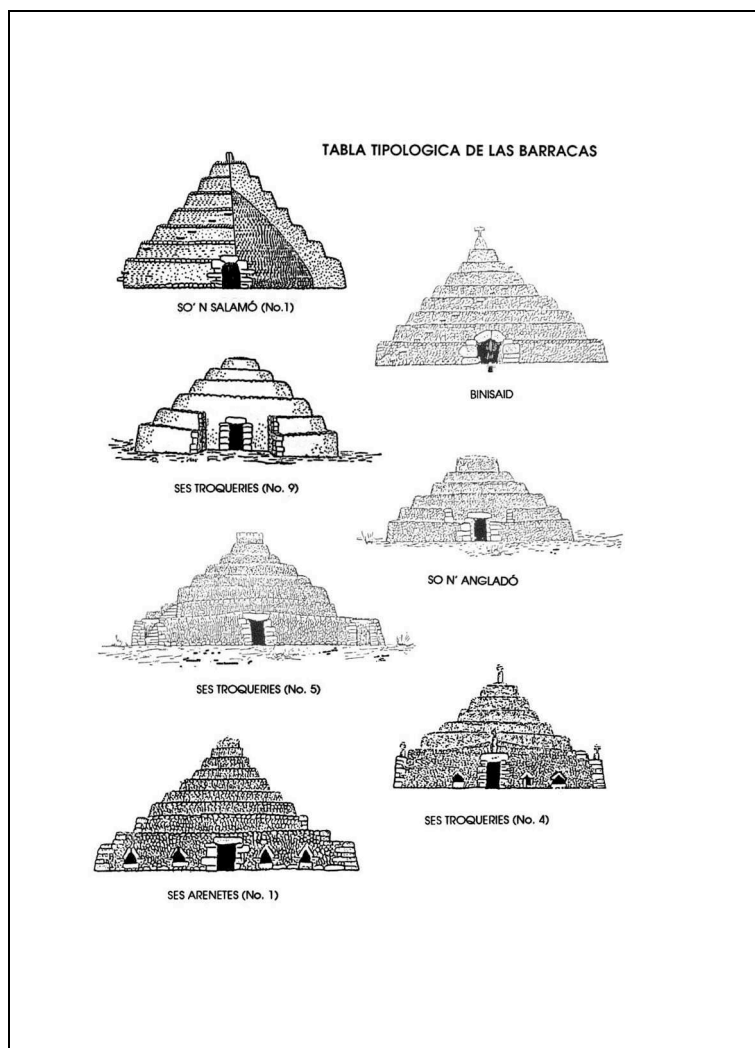


Figure 10. Différentes barracas de Minorque (Espagne)

Il en résulte que l'édifice sera d'autant plus haut et comportera d'autant plus de parements que le diamètre de la coupole sera grand, il comportera alors d'autant plus de degrés de hauteur (maximum) et de largeur (minimum) celles de l'homme.

Contrairement à l'interprétation habituelle, les parements successifs n'ont pas pour rôle de conforter l'édifice, ce qu'ils font néanmoins, mais constituent le procédé même de construction par degrés générateurs de la forme architecturale.

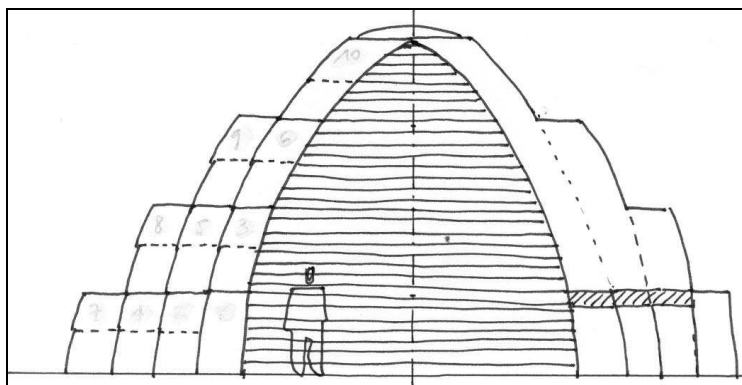


Figure 11. Coupe schématique des parements successifs induits par la méthode de construction par « accrétion-exhaussement » d'une capitelle ou barraca

De fait, les barracas de Minorque, construites à la fin du XIXe siècle, représentent l'aboutissement du procédé puisque les pelures-enveloppes sont d'une épaisseur minimum, soit soixante centimètres environ, correspondant à l'épaisseur d'un mur de pierre à double parement tout autant qu'à la largeur de l'homme (soit une coudée !).

Cette technique de construction est la continuation - comprise dans le « continuum technique » - de celle des tumuli, cairns, dolmens, tombes mycéniennes et autres sépultures tumulaires à chambre à coupole en encorbellement, de même que de la technique de construction des pyramides à degrés égyptiennes et amérindiennes, toutes ces méthodes de construction étant issues du procédé « d'accrétion-exhaussement » ébauché dès le premier épierrement rural du vernaculaire.

12.7. Le domaine des Tumulus de Bougon (Deux Sèvres)

Ce témoignage important du Génie des Ouvrages et de l'Art de bâtir mérite une étude plus approfondie, car ce site est particulièrement explicite du fait qu'il comporte de nombreux ouvrages de types et d'âges différents : dolmens circulaires à table, dolmens à chambre, dolmen en mur à degrés, offrant la particularité de mettre en évidence les zones d'emprunt (ou carrières) respectives et les modes constructifs respectifs.

Le site découvert en 1840 fut l'objet de recherches plus ou moins intempestives jusqu'en 1875, les tumulus de Bougon (ou chirons) devenus propriété départementale en 1879, n'ont connu aucune fouille pendant plus d'un siècle. Des travaux scientifiques reprirent en 1968, sous la direction de C. Burnez, puis de J.-P. Mohen à partir de 1972. De nos jours, les monuments ont tous été étudiés et restaurés. Ils forment un des ensembles mégalithiques les plus prestigieux de France, accompagné d'un important musée du mégalithisme du Centre-Ouest.

Cette grande nécropole devait sans aucun doute correspondre à un site important d'habitat sédentaire de cultivateurs néolithiques, dans la boucle de la petite rivière que bordent des falaises offrant une lecture directe du gisement pierreux sous jacent.

Aujourd'hui encore, la localité est profondément agricole et l'agriculteur moderne. Sa charrue, sans cesse plus performante, lève encore des pierres qu'il apporte au pierrier en clôture.

12.7.1. Plan du domaine du Musée des Tumulus

Le document de la figure suivante situe les différents tumulus du domaine de Bougon, ainsi que les carrières de pierre qui les composent.

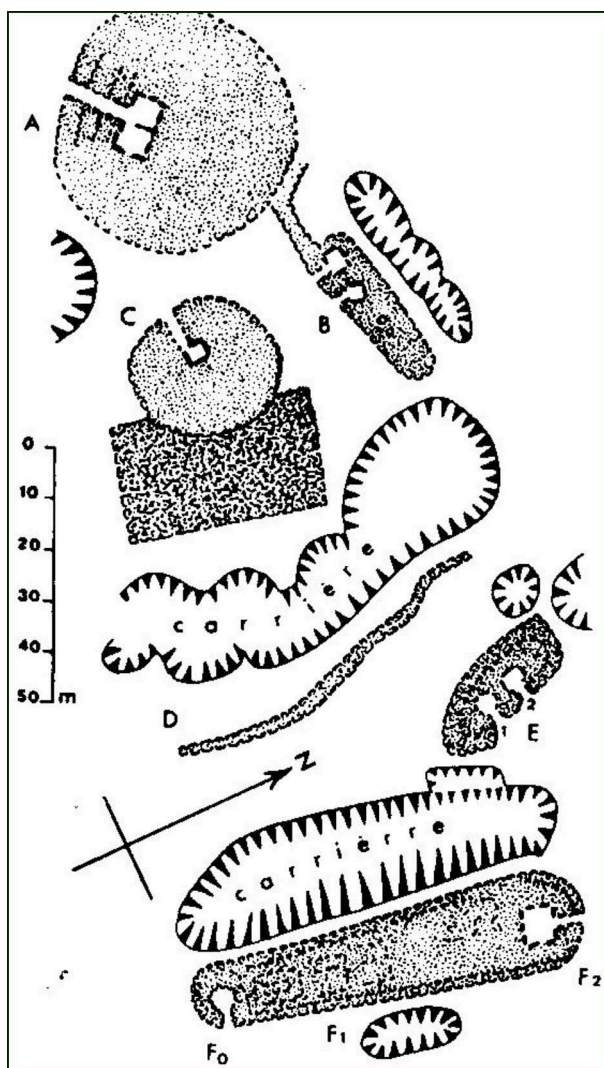


Figure 12. Plan du domaine des tumulus de Bougon

En effet, les zones d'emprunt des matériaux pierreux qui constituent les cairn-tumulus, à dolmen ou à coupole en encorbellement, sont, bien évidemment situées au pourtour, alentour, au plus près, au plus facile sans doute, pour des raisons d'économie d'effort, loi fondamentale du travail humain. On peut même penser que la présence, les quantité et qualité du gisement et la facilité d'extraction, sont des critères essentiels d'implantation et de faisabilité des

ouvrages tumulaires. A contrario, ils seraient extraordinairement chers en terme d'énergie humaine dépensée.

Force est de prendre conscience de cet impératif, la meilleure des méthodes pour en prendre conscience étant de l'expérimenter soi-même.

Les exemples et les preuves sont multiples et éloquentes, qu'il suffit de regarder dans cette optique, à savoir : faire un trou génère un tas, et inversement vouloir faire un tas impose d'emprunter alentour.

Par rapport aux ouvrages sépulcraux néolithiques, les épierrements ruraux inversent seulement la motivation, mais non pas la technique constructive qui reste soumise aux lois naturelles de la statique et de la résistance des matériaux et à la loi humaine, celle de l'économie d'effort à cause de la fatigue occasionnée par le travail manuel.

12.7.2. Gisement pierreux sous-jacent du site

Le site de Bougon doit être appréhendé avec de la hauteur de vue ! En effet, la photographie aérienne et la carte IGN 1/25000 nous renseignent sur les caractéristiques topographiques et hydrologiques du site, en complément des données géologiques du gisement, mais aussi sur les qualités défensives du site néolithique.

Bordé sur trois cotés par les abrupts des falaises rocheuses formées par l'érosion hydrologique d'un méandre de la rivière « le Bougon » (aujourd'hui devenu ruisseau par soutirage industriel) le site constitue un véritable promontoire naturellement fortifié, propice à un habitat permanent au néolithique. Le village actuel de Bougon se situe, lui, sur l'autre rive.

Il ne serait pas étonnant alors que ce site contienne, en bordure et en complément de ses installations, le lieu de repos des Ancêtres, la grande nécropole néolithique des Tumulus de Bougon.

Cet exemple permet de prendre conscience de la conjonction de tous les éléments justifiant la présence des Tumulus de Bougon : Le site fortifié naturel pour l'habitat ; la présence de l'eau indispensable à la vie ; le sol propice aux céréales et les champs de culture épierrés depuis toujours par le laboureur formant dès lors les murets de clôture ; le sous sol calcaire stratifié fin prédécoupé par la fracturation naturelle des roches (figure suivante) fournissant facilement en qualité et en quantité le matériau essentiel à l'érection de ces tas de pierres ; et enfin la méthode « d'accrétion-exhaussement » générant la forme architecturale, particulièrement bien maîtrisée par le maître d'œuvre dirigeant sans doute tout un groupe d'ouvriers (carriers, manœuvres et maçons) main d'œuvre dictant, par ailleurs, les règles anthropométriques et d'économie d'effort.



Figure 13. Site de Bougon, falaise en bordure de rivière montrant le gisement sous jacent

12.7.3. Murets de clôture

Les champs de culture sont séparés depuis longtemps par des murets de pierre sèche, qui ne sont en fait que des épierrements empilés en muret, qui ne sauraient dépasser la hauteur d'homme, résultant du ramassage successif des pierres levées par la charrue lors des labours.

Ces pierres ont été manu-portées par le paysan jusqu'en bordure du champ et empilées selon un appareil de pierres sèches à double parement, contenant le cailloutis au milieu. Aujourd'hui, ces murets sont encore approvisionnés, manuellement, étant donné les performances sans cesse améliorées des charrues qui lèvent toujours de nouvelles pierres, qu'il faut encore porter à bras jusqu'en limite et empiler en muret pour tenir le moins de place possible, renouvelant depuis des siècles, peut être même des millénaires, les mêmes gestes, pour les mêmes raisons, et répétant obligatoirement les mêmes techniques constructives à base anthropométrique et d'économie d'effort.



Figure 14. Bougon : les murets d'épierrement dans les champs labourés sont toujours actifs.

12.7.4. Tumulus A , contenant un dolmen à tables sur orthostates.

C'est un gros cairn d'une quarantaine de mètres de diamètre, limité par un beau mur de parement. Plusieurs autres lignes de murs concentriques sont visibles dans la masse du tertre (figure suivante).

Ce tumulus abrite un dolmen important de type angoumois, couvert d'une table d'un mètre d'épaisseur dont le poids est estimé à plus de cent tonnes. Sa construction date du néolithique moyen (Vème millénaire). Cet édifice est particulièrement démonstratif du mode de construction, par la lecture et l'intelligence de la méthode générique.

En effet, il n'existe pas de dolmen sans son cairn, ou de chambre circulaire en encorbellement sans son tumulus. Si le dolmen est visible aujourd'hui, c'est que le cairn (tas de pierres) a été démonté, essentiellement pour fournir d'autres ouvrages, souvent des maisons d'habitation ou les chemins ruraux, en matériaux, à moindre coût.

Car, en fait, c'est bien le « tas de pierres » qui permet d'élever la coupole d'encorbellement ou de mettre en place par glissement la table dolménique au moment opportun, table souvent bien trop lourde pour songer à la lever.

Les murs concentriques qui composent le cairn-tumulus, ne sauraient être du domaine esthétique, pas plus qu'ils ne sont faits pour contre butter l'édifice, comme l'explique nombre d'archéologues, mais bien pour générer la construction elle-même puisqu'ils sont l'essence même de la méthode « d'accrétion-exhaussement » par degrés.

Le degré inférieur périphérique n'a de raison d'être que pour permettre la poursuite de la construction du degré précédent, pour l'acheminement des matériaux et l'élévation successive du maçon, au pied du mur, et des nombreux manœuvres qui approvisionnent en matériaux. Cette technique est en fait identique à celle des premiers "épierrements enserrés", basée sur l'anthropométrie, dans la mesure où ces édifices sont fait de main d'hommes.



Figure 15. Bougon, Tumulus A, vue générale des degrés concentriques

12.7.5. Bougon, Tumulus A, détail des parées

La photographie ci-après nous montre particulièrement bien les différents murs de parement concentriques qui composent et génèrent le cairn-tumulus. Ces murs très bien appareillés, réalisés avec les pierres les plus grosses et les plus régulières, ensèrent, à chaque phase, un blocage de cailloutis plus ou moins bien rangé, sans doute jeté sans soin particulier, comme dans les épierrements enserrés dus à l'épierrage des champs ou des pâtures.

On peut constater qu'il n'y a aucune liaison, aucun corbeau, ni même aucune boutisse qui tenterait de lier un degré à l'autre, qui, de ce fait, sont complètement indépendants les uns des autres. Cette disposition n'est pas une erreur, un hasard ou un formalisme, pas même une volonté de maçon, mais bien une obligation constructive due à la méthode.

Le volume du cairn-tumulus n'est pas définitivement arrêté, et rien ne nous empêcherait, constructivement, de l'augmenter, aujourd'hui, sept siècles plus tard, suivant obligatoirement la même méthode manuelle ancestrale « d'accrétion-exhaussement », dans la mesure où on ne disposerait pas d'échafaudages ni de moyens de levage.

Les dernières barracas construites à Minorque, au début du XXème siècle, bergeries de pierre sèches d'épierrage des pâtures, dans les mêmes conditions d'économie de moyens, nous apportent de façon paradoxale parce qu'anachronique, la preuve irréfutable de l'utilisation de cette méthode "première" de construction par degrés, qui génère la forme architecturale.



Figure 16. Bougon, Tumulus A, détails des parées concentriques indépendantes

12.7.6. Bougon, Tumulus A, détail

La photographie de détail suivante nous montre de près « l'indépendance » de chacune des « accrétiens » concentriques par rapport à la précédente, séparées à l'intérieur du massif par le « trait de sabre ». Ce dispositif qui induit la méthode de construction par degrés successifs se retrouvera dans tous les édifices de type tumulaire de pierre ou de terre des différentes civilisations historiques, dispositif qui implique obligatoirement l'utilisation de la même méthode « d'accrétion-exhaussement », pour la même raison d'économie de moyens et construction de main d'hommes.

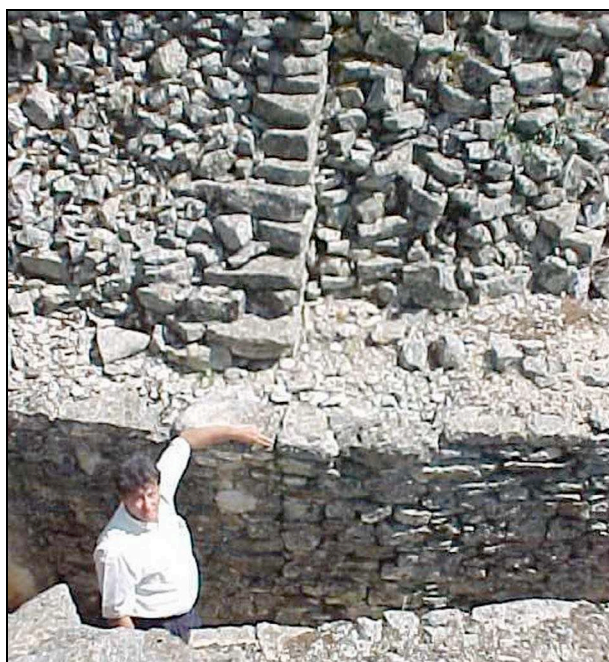


Figure 17. Bougon, Tumulus A - détails du " trait de sabre"

On retrouvera le « trait de sabre » dans les dolmen et tumulus, les tombes mycéniennes et lydiennes, sardes et corses, maltaises et berbères, sur tout le pourtour méditerranéen mais aussi dans les pyramides à degrés d'Egypte, les ziggurats de Mésopotamie, les teocalli d'Amérique Centrale, les stuppas des Indes ou de Chine.

12.7.7. Bougon, Tumulus Fo, vue extérieure et intérieure

Monument à chambre circulaire en encorbellement construit suivant la méthode « d'accrétion-exhaussement » qui impose des degrés successifs en escalier, ce tumulus est daté du Ve millénaire av. J.C.



Figure 18. Bougon, Tumulus Fo, vues extérieure (à degrés) et intérieure (en encorbellement)

12.7.8. Bougon, Tumulus F1

Constitué d'une succession de massifs quadrangulaires de pierres enserrés dans un mur périphérique, il devait originellement se présenter sous la forme d'une plate-forme à degrés (?). Si des restes humains gisaient sur le pourtour même du monument, aucun vestige ne fut découvert dans sa masse, qui ne paraît pas avoir été édifiée pour protéger une sépulture. Cependant les extrémités nord et sud ayant été amputées pour y recevoir un dolmen, on ne sait ce qu'elles recelaient. Ce tumulus pourrait en fait être un mur de défense barrant l'éperon où se situait l'habitat.



Figure 19. Bougon, Tumulus F1, en mur à degrés

12.8. Etude typologique

L'étude typologique (en fonction du mode opératoire) des épierrements et constructions de pierre sèche, reste à faire. Elle n'intéresse que peu de personnes puisqu'il s'agit là de constructions mineures et vernaculaires. Néanmoins elle constitue bien pour notre sujet, la mise en évidence de la règle « générique » de la construction qui est bien l'anthropométrie du travail manuel.

Citons Roger Joussaume, (1985) :

(p. 101) « Une chambre qui possède une couverture en encorbellement montée en pierre sèche nécessite une énorme masse de pierres pour maintenir son équilibre et de ce point de vue le dolmen des Cous à Bazoges en Pareds en Vendée est une réussite architecturale.

Le dolmen des Cous se compose d'une chambre unique pratiquement circulaire d'environ 4,50 m de diamètre à laquelle on accède par un couloir long de 5 m, ouvrant à l'est. Ce couloir avait à peu près 1 m de large et devait être recouvert de dalles à environ 1,20 m au-dessus du sol. Ses parois sont constituées de dalles dressées, alternant plus ou moins régulièrement avec des murs en pierre sèche. La chambre également dallée est limitée par des pierres dressées plaquées sur un mur en pierre sèche. Ainsi, ces dalles internes forment un véritable parement et n'ont que peu d'utilité dans le maintien de la couverture. En fait la couverture était montée en encorbellement à partir d'une masse de pierres formant un anneau de 2,50 m de large autour de la chambre. L'ensemble était maintenu solidement par un second anneau de pierres haut d'environ 1,20 m et ayant lui aussi 2,50 m de large. A l'ouest, du côté de la plus grande pente du terrain, un petit contrefort fut ajouté pour renforcer cette partie fragile. Aux Cous, la longueur du couloir (5 m) paraît être le minimum nécessaire à l'édification du monument. Mais dès que la couverture d'un monument unique dans son tertre devient mégalithique, le couloir en tant que moyen d'accès à la chambre n'a plus de raison d'être. Et dans les chambres couvertes par un encorbellement, il n'est nullement besoin de construire un couloir long de 10 m. Le couloir, dans les dolmens, n'a donc pas que le simple rôle d'accès à la chambre. Surbaissé et disproportionné aux besoins architecturaux, il est l'étroit passage entre le monde des morts et celui des vivants... Il est bien difficile d'en dire plus. »

Ce texte est particulièrement explicite de l'interprétation habituelle donnée par les archéologues concernant les dolmens, et l'on perçoit bien la difficulté de compréhension du « pourquoi », au point qu'il aura recours, in fine, à l'évocation des morts !

Non, les anneaux concentriques de 2,5 m n'ont pas pour rôle de conforter la chambre en encorbellement, ni le second anneau de conforter le premier, pas plus qu' « à l'ouest, du côté de la plus grande pente » le rôle du petit contrefort n'est pas de « renforcer cette partie fragile », même si c'est bien le cas ! L'aire de battage de Cipierre nous a démontré la méthode de construction par degrés dite « d'accrétion-exhaussement », et ici, tout comme pour les Tumulus de Bougon, et peut-être pour tous les édifices tumulaires, il ne s'agit pas d'un projet architectural, d'une « forme » voulue mais de l'application d'une « méthode » de construction, qui « génère » la forme. Peut-être même est-elle universelle.

Archéologues et égyptologues pourront désormais s'inspirer de cette méthode constructive mise ici en évidence, qui est la seule à nécessiter et expliciter le pourquoi des degrés qu'ils observent, au point que l'on peut, sans trop prendre de risques, conjecturer :

- d'une part que cette méthode est peut-être la seule méthode de construction des édifices tumulaires, cependant le Tumulus de Knowth en Irlande semble échapper à ce modèle,
- d'autre part, que les formes architecturales sont fonction de la technique, ce qui n'est pas nouveau, mais avant tout de la méthode constructive, fonction elle-même de l'anthropométrie et de l'outillage, ce qui inverse l'angle de vue habituel et la lecture de l'évolution des Ouvrages et de l'Art de bâtir.

Cependant, la loi quasi universelle de « l'accrétion-exhaussement », semble remise partiellement en question par quelques ouvrages « atypiques », dont par exemple :

- le tumulus C de Champ-Chalon à Benon (Charente-Maritime), daté du IV^{ème} millénaire qui nous offre une structure sub-orthogonale de murs entrecroisés et un dolmen de type traditionnel en parées successives selon la loi de « l'accrétion-exhaussement » mise en évidence. La technique du quadrillage de murs forme des compartiments bourrés de blocage de pierraille et de terre, comme autant d'alvéoles. Au dire des archéologues, « *selon toute vraisemblance, ces alvéoles correspondent à une technique de construction qui permet de gagner de la hauteur sans avoir à élargir considérablement le tumulus* ». On observera, cependant, que ces murs appareillés entrecroisés ensèrent du bourrage tout-venant dans des alvéoles et que ces murs, en l'occurrence ici, ne dépassent pas la hauteur d'homme. Cette technique offre une analogie certaine avec le mode constructif de certains mastabas égyptiens des I^{ère} et II^{ème} dynasties.



Figure 20. Tumulus C de Champ-Chalon à Benon (Charente-Maritime)

Les archéologues font aussi remarquer, à juste titre, que « *parallèlement aux longs murs de parement du tumulus, deux larges dépressions correspondent aux carrières d'où les matériaux de construction furent extraits* ». L'analyse sur place permet de classer cet ouvrage comme une adaptation mineure de la loi universelle.

- l'énorme Tumulus de Knowth en Irlande est autrement plus démonstratif. Daté du IV^{ème} millénaire, il nous montre une structure de quadrillage de murs entrecroisés, contenant de la blocaille, sur un plan radio-concentrique. Cet ouvrage témoigne de la capacité d'exhaussement au-delà de la hauteur d'homme. Il s'agit bien-là de l'exemple de construction d'un ouvrage d'une toute autre technique qui semble entacher l'universalité du procédé « d'accrétion-exhaussement » ! Le plus étonnant est que seize petits tertres circulaires « classiques » avoisinent cet ouvrage « atypique ».



Figure 21. Tumulus de Knowth (Irlande) : un ouvrage « atypique » qui semble entacher l'universalité de la méthode « d'accrétion-exhaussement ».

12.9. Un « système constructif » instinctif

Cette méthode constructive appelée « construction par degrés » par A. Choisy, mais jamais explicitée, sera appliquée dès le début de l'agriculture et utilisée tout au long du Néolithique et de l'Antiquité, et même bien après (barracas de Minorque au XIXe siècle) quand les conditions de précarité des moyens sont similaires.

La question de l'essaimage de cette technique constructive, à partir d'un foyer culturel ancestral est souvent posée dans la mythologie, l'ésotérisme, et autres recherches et littératures ; il ne s'agit pas là d'ouvrir un tel débat, cependant quelques exemples glanés au hasard des lectures éclaireront notre position.

12.9.1. Homère - Odyssée - Traduction de Victor Bérard (1955)

(p 452) Tertre ou Tumulus pour la sépulture d'Achille. « *Au dix-huitième jour, on te mit au bûcher et, sur toi, l'on tua un monceau de victimes, tant de grasses brebis que de vaches cornues ! Puis tu brûlas, couvert de tes habits divins et de parfums sans nombre et du miel le plus doux. Autour de ton bûcher, pendant que tu brûlais, les héros achéens, gens de pied, gens de char, joutaient avec leurs armes : quel tumulte et quel bruit !*

Quand le feu d'Héphaestos eut consumé tes chairs, au matin nous recueillîmes tes os blanchis, qu'on lava de vin pur, qu'on oignit de parfums. Ta mère nous donna une amphore dorée, qu'elle disait avoir reçue de Dionysos ; mais du grand Héphaestos, cette urne était

l'ouvrage. On y versa tes os blanchis, ô noble Achille, avec ceux de Patrocle, le fils de Menoeteus. Dans une autre urne, on mit les restes d'Antiloque, celui qu'après la mort de Patrocle, ton cœur honora sans rival parmi tes compagnons. Puis, pour eux et pour toi, toute la sainte armée des guerriers achéens érigea le plus grand, le plus noble des tertres, au bout du promontoire où s'ouvre l'Hellespont : on le voit de la mer ; du plus loin, il appelle les regards des humains qui vivent maintenant ou viendront après nous. » [...]

« Je ne serais pas triste de sa mort, si du moins il était tombé parmi ses gens, à Troie, ou dans les bras des siens, une fois la guerre achevée : là, les Panachéens lui eussent élevé un tertre et, à son fils, il eût encore légué sa haute gloire [...]. Maintenant, les Harpyes l'ont emporté sans gloire : il est parti, obscure, ignoré... »

Cette « belle mort » qui attend le guerrier, à laquelle il doit son *kléos*, c'est dans la force de l'âge qu'il la lui faut trouver, quand son corps ignore les décrépitudes de la vieillesse, comme ce fut le cas pour Achille, Hector et Patrocle ; ainsi, il restera éternellement juvénile et beau dans la mémoire des hommes. Et c'est justement parce que la gloire du guerrier est liée à cette éternelle jeunesse que sa dépouille mortelle fait l'objet de soins particuliers. Inversement, la pire injure que l'on puisse infliger à l'ennemi, c'est précisément de mutiler son cadavre : ainsi fait Achille, traînant dans la poussière le corps d'Hector attaché à son char, et souhaitant que chiens et vautours s'en emparent.

12.9.2. L'échelle de Jacob, La Genèse, Bible, traduction de Louis Segond (1995)

(Jacob, chapitre 28, page 52) « Jacob partit de Beer-Schéba, et s'en alla à Charan. Il arriva dans un lieu où il passa la nuit ; car le soleil était couché. Il prit une pierre, dont il fit son chevet, et il se coucha dans ce lieu-là. Il eut un songe. Et voici, une échelle était appuyée sur la terre, et son sommet touchait au ciel. Et voici, l'Eternel au-dessus d'elle ; et il dit : Je suis l'Eternel, le dieu d'Abraham, ton père et le dieu d'Isaac. La terre sur laquelle tu es couché, je la donnerai à toi et à ta postérité.

...Et Jacob se leva de bon matin ; il prit la pierre dont il avait fait son chevet, il la dressa pour monument, et il versa de l'huile sur son sommet. Il donna à ce lieu le nom de Béthel ; mais la ville s'appelait auparavant Luz... ; alors l'Eternel sera mon Dieu ; cette pierre que j'ai dressée pour monument, sera la maison de Dieu ; et je donnerai la dîme de tout ce que tu me donneras. »

(Jacob, chapitre 31, page 59) « Viens, faisons alliance, moi et toi, et que cela serve de témoignage entre moi et toi !

Jacob prit une pierre, et il l'a dressa pour monument. Jacob dit à ses frères : Ramassez des pierres. Ils prirent des pierres, et firent un monceau ; et ils mangèrent là sur le monceau. Laban l'appela Jegar-Sahadutha, et Jacob l'appela Galed. Laban dit : Que ce monceau serve aujourd'hui de témoignage entre moi et toi ! C'est pourquoi on lui a donné le nom de Galed. On l'appela aussi Mitspa, parce que Laban dit : Que l'Eternel veille sur toi et sur moi, quand nous nous serons l'un et l'autre perdu de vue. Si tu maltraites mes filles, et si tu prends encore d'autres femmes, ce n'est pas un homme qui sera avec nous, prends-y garde, c'est Dieu qui sera témoin entre moi et toi ; Laban dit à Jacob : Voici ce monceau, et voici ce monument que j'ai élevé entre moi et toi. Que ce monceau soit témoin et que ce monument soit témoin que je

n'irai point vers toi au-delà de ce monceau, et que tu ne viendras point vers moi au-delà de ce monceau et de ce monument, pour agir méchamment. Que le Dieu d'Abraham et de Nachor, que le Dieu de leur père soit juge entre nous. Jacob jura sur celui que craignait Isaac. Jacob offrit un sacrifice sur la montagne, et il invita ses frères à manger ; ils mangèrent donc, et passèrent la nuit sur la montagne.

Laban se leva de bon matin, baisa ses fils et ses filles, et les bénit. Ensuite il partit pour retourner dans sa demeure. »

12.9.3. « *Les Mégalithes, pierres de mémoire* », Jean-Pierre Mohen, 1998.

(p 91) *Les pierres des Torodja – « Aux Célèbes, en Indonésie, des champs de menhirs alignés sont toujours utilisés comme centre cérémoniels par les Torodja. Chaque famille est propriétaire de ses mégalithes, mémoire du clan, ordonnés selon la généalogie, et à ce titre symboles de la grandeur ou du déclin du groupe ; les plus grandes pierres (6 mètres de haut et 8 tonnes) ont mobilisé pour leur transport et leur mise en place des efforts considérables, soutenus par des cérémonies de sacrifices qui ajoutaient à la magie du lieu : des centaines de cochons étaient immolés. Aujourd'hui les pierres sont beaucoup plus modestes (20 à 30 centimètres de haut seulement), mais la tradition perdure. Il s'agit désormais d'une fête à laquelle participe l'effigie du mort plantée devant le cercueil. Des combats de buffles ont lieu dans la rizière voisine, avant que les animaux ne soient abattus et les morceaux distribués aux participants. La fête autour des pierres dressées dure toute la nuit, et, entre prières et chants, naît un nouveau mégalithe, dressé au milieu de ses pairs. »*

Les mégalithes du Sénégal – « La nécropole de Sine-Ngayène, au sud du Sénégal, est signalée par des cercles de pierres dressées [...]. Dans chacun d'eux, une fosse remblayée contient les restes d'inhumations successives de l'âge du fer, une pratique qui semble avoir duré pendant le 1er millénaire de notre ère. La reconstitution [...] des positions d'inhumation des squelettes du cercle n° 25 fait apparaître deux groupes, dans une mise en scène destinée à impressionner ceux qui assistaient à la cérémonie, rassemblés au-dessus de la fosse, le long du cercle des monolithes. Les pointes de lances en fer disposées parmi les corps prouvent que c'est en période de guerre qu'avaient lieu ces inhumations collectives. »

12.9.4. *Diodore de Sicile, Bibliothèque Historique Livre III (traduction de 1989)*

(chapitre XXXIII, §1&2) « 1 Comme armement, les Trogodytes appelés Mégabares ont des boucliers en peau de bœuf non tannée et une massue portant des protubérances de fer, tandis que les autres ont des arcs et des lances. 2 Ils suivent des rites funéraires tout à fait singuliers ; en effet, après avoir lié le corps des morts avec des rameaux de paliure, ils attachent le cou aux jambes et, après avoir placé le cadavre sur un monticule, ils jettent des pierres de la grosseur du poing, tout en riant, jusqu'à ce que l'amoncellement des pierres recouvre le corps ; enfin après avoir placé sur le tas une corne de chèvre, ils s'éloignent sans s'apitoyer aucunement. 3 Ce qui les amènent à combattre les uns contre les autres, ce n'est pas comme chez les Grecs, un ressentiment ou des griefs, mais leur constant changement de pâturages. Dans leurs dissensions, ils commencent par se lancer des pierres les uns les autres jusqu'à ce que quelques-uns soient blessés et, pour finir, ils en viennent à se battre avec leurs arcs. Il y a

beaucoup de morts en peu de temps, parce que leur entraînement à l'arc rend les indigènes habiles et que ceux qui leur servent de cible sont dépourvus d'armures. 4 Mais la fin de la bataille est provoquée par les femmes âgées, qui, en se précipitant entre les combattants, obtiennent qu'ils changent de sentiments ; il est d'usage, en effet, chez eux de ne pas frapper ces femmes en aucune manière, de sorte que leur apparition met fin à leur tir. »

12.9.5. « Un village préhistorique à Montpellier sur le plateau de Celleneuve », de Michel Lorblanchet et l'Abbé Mestre, BSPF, 1966, n°3

Dolmen sur des lapiez : « Entre les buissons, les parois blanches du calcaire surgissent ; burinée par les averse, dénudée de la moindre parcelle de sol, la roche s'expose au soleil, au gel, à l'humidité brusque et ouvre de larges clairières naturelles au milieu desquelles se dressent les dolmens ; c'est une règle générale en Languedoc : les mégalithes sont situés sur les lapiez ; sans doute les dolméniques dressaient-ils leurs monuments là où ils trouvaient le plus facilement les matériaux, mais il est probable aussi qu'ils cherchaient de cette façon à fuir une végétation trop épaisse. »

12.9.6. « Voyage en Egypte et en Nubie » G. Belzoni - Editeur Pygmalion -Gérard Watelet PARIS 1979 - Collection "les grandes aventures de l'archéologie"

(page 288 et 289), Des tertres : « En approchant, nous trouvâmes que ces mamelons étaient des tertres ou tombelles à peu près de la forme de parallélogrammes, longues de vingt à trente pieds, et formées de monceaux d'ossements recouverts de terre. Il y en avait, je crois une trentaine ; quelques-unes étaient assez grandes pour contenir une centaine de corps : ainsi la totalité des tombelles pouvait servir de sépulture à un grand nombre d'hommes. J'ai formé au sujet de ces tumuli une conjecture qui, je l'espère, paraîtra assez plausible aux savants. Il faut se rappeler par l'histoire que Cambyse, après avoir conquis l'Egypte, envoya une partie de son armée dans les déserts de la Libye pour soumettre les Ammonites ; mais ce corps d'armée, trahi par ses guides qui étaient des Egyptiens, périt dans les déserts, et on n'en entendit plus parler.

... Les Bédouins m'apprirent que ce n'étaient pas les seuls qu'on trouvait dans le pays, et qu'à quelque distance de ceux-ci, il y en avait encore un grand nombre ... »

(page 293), Les Amazones : « Mon guide leur raconta à ce sujet plusieurs histoires merveilleuses, entre autres celle d'une excursion qu'il prétendait avoir faite avec des camarades du côté du sud, où il avait rencontré, à ce qu'il disait, une tribu d'hommes tout différent de nous, puisqu'ils marchaient comme les chiens, tandis que leur femmes se battaient contre les autres tribus. Ce peuple, ajouta le guide, est si loin que leur beled ou village, est près des nues, et qu'en gravissant le sommet d'une haute colline, on pourrait les toucher des mains. Les Bédouins croient en général que le ciel et la terre se touchent à l'horizon. »

12.9.7. La carte postale du « Quai aux pavés » de la gare Syndicat Saint-Amé (Vosges)

Datée de 1913, elle nous montre à voir (voir figure suivante) des empilements de pavés, en attente d'expédition sur le quai de chargement, qui constitue la plus belle illustration de l'utilisation normale, manuelle et contemporaine du système « d'accrétion-exhaussement », pour des raisons identiques aux épierrements : encombrer le moins de surface possible.

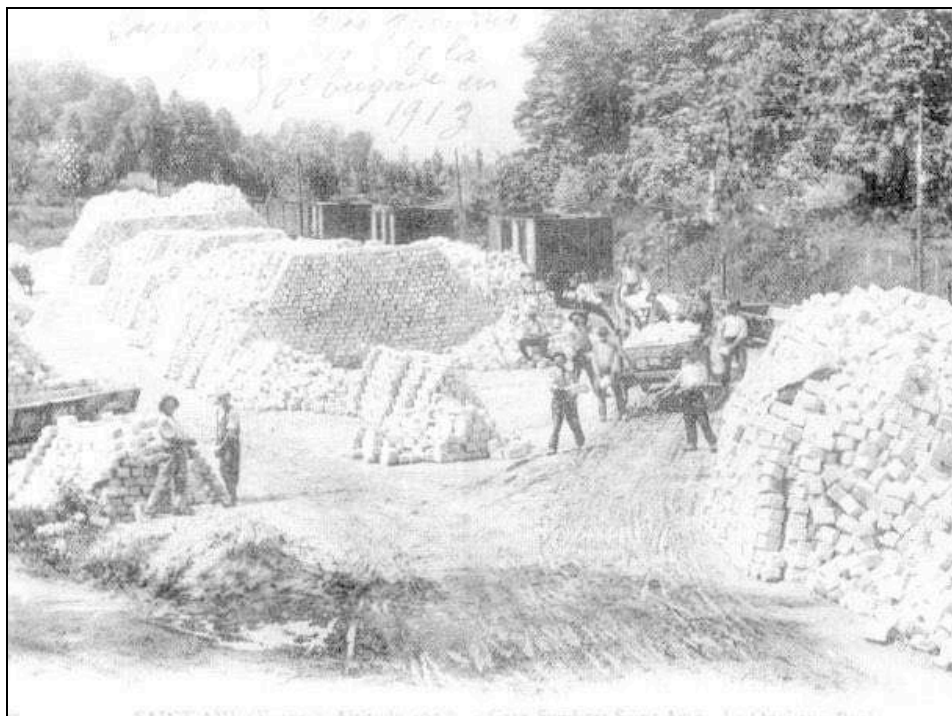


Figure 22. Empilement de pavés sur le quai de la gare, d'après une carte postale publiée dans l'ouvrage de F. Durand, « Granit, la pierre et les hommes », 1999

12.9.8. Ravaneti des Carrières de Carrare

La figure suivante parle d'elle-même.

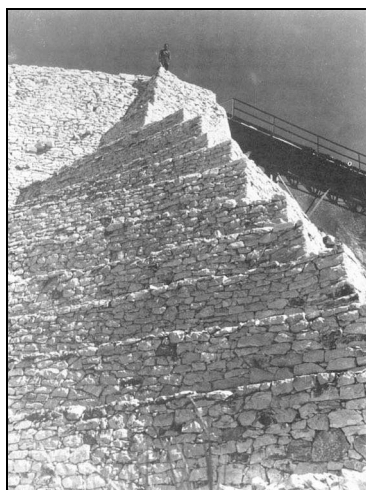


Figure 23. Ravaneti des carrières de Carrare : empilement par degrés

12.9.9. Chantiers à Cotonou

La figure suivante montre comment, sur un chantier à Cotonou au Bénin, les ouvriers montent du matériel aux étages supérieurs.



Figure 24. Ascension par degrés sur les chantiers à Cotonou (Bénin)

12.10. Les pyramides amérindiennes

Les pyramides à degrés amérindiennes relèvent, elles aussi du même « continuum technique ». Citons C.W. Ceram dans « Des dieux et des tombeaux, des savants », Editeur Club des Librairies de France, au chapitre « Le Livre des esclaves » :

(p. 200) « *En effet les Mayas bâtissaient leurs grands monuments, non pas quand ils en avaient besoin, mais quand le calendrier le leur commandait. C'est-à-dire qu'ils édifiaient tous les cinq, dix ou vingt ans, un nouveau bâtiment, sur lequel ils inscrivaient sa date de naissance. Et parfois, autour d'une pyramide, ils en construisaient une deuxième, parce qu'une nouvelle division du calendrier exigeait sa consécration. Ils continuèrent pendant des siècles avec une régularité absolue - les dates gravées en sont la preuve.* »

(p. 192) « *C'est là que s'élevèrent les pyramides de Teotihuacan, entre autres celles du Soleil et de la Lune, édifices si grandioses qu'ils soutiennent la comparaison avec les mausolées des pharaons. (La pyramide du Soleil a plus de 60 mètres de haut et sa base mesure plus de 200 m de côté.)* »

(p. 211) Parlant des fouilles de Chichenitza et des visiteurs d'aujourd'hui : « *ils se promènent sur les grandes plaines de jeux, dont la plus vaste mesure environ cent soixante mètres sur quarante, où la jeunesse dorée des Mayas s'adonnait à un sport qui ressemble au basket-ball. Ils s'arrêtent enfin devant le "castillo" la plus grande des pyramides. Neuf volées d'escaliers*

donnent accès au temple de Kukulkan, le "serpent à plumes". »



Figure 25. Pyramide Maya de Palenque, avant restauration. On aperçoit à gauche les parées successives à l'identique des pyramides à degrés égyptiennes

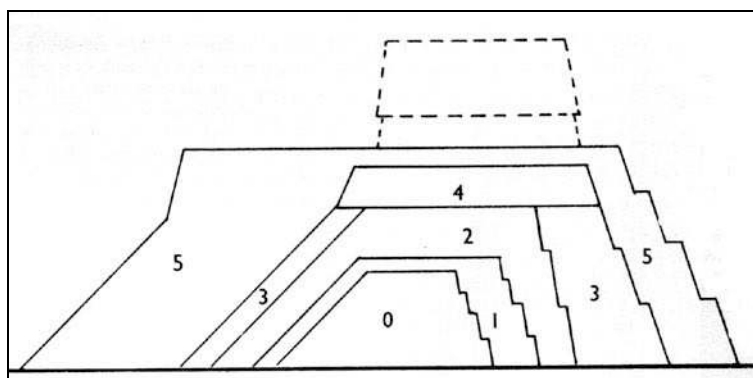


Figure 26. Coupe de la pyramide de Tenayuca montrant les agrandissements successifs.

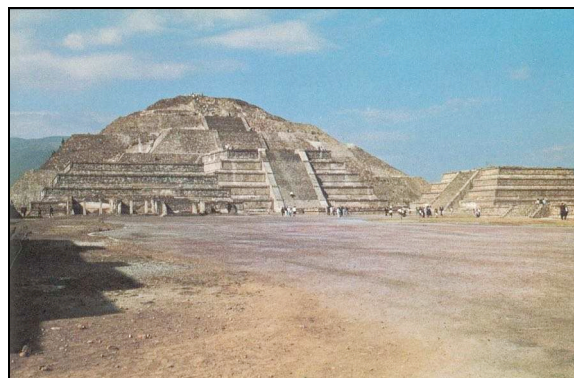
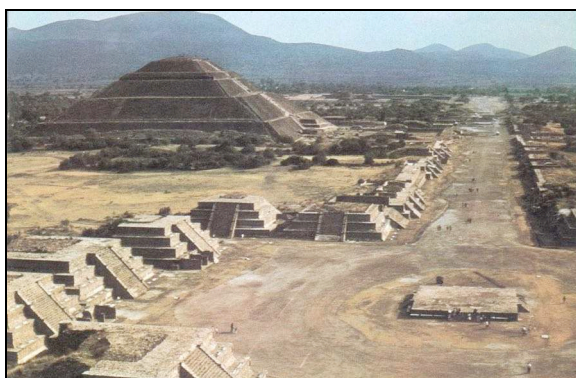


Figure 27. Pyramides de la civilisation Olmèque de Téotihuacan du Soleil et de la Lune

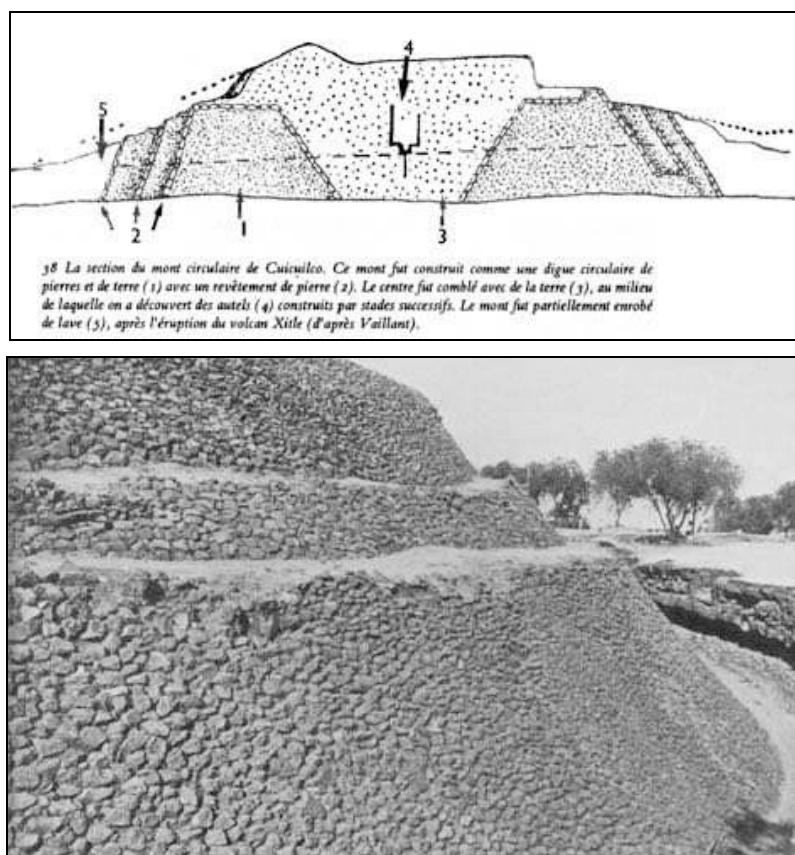


Figure 28. La pyramide Toltèque de Cuicuilco à Mexico est un édifice circulaire à degrés de 145m de diamètre et 20m de hauteur.

(p. 212) « En trente ans, les fouilles donnèrent des résultats sensationnels. En 1925, les savants exhumaient, dans les faubourgs de la capitale (Tulla - Etat de Hidalgo), la pyramide aux serpents et découvraient que ce n'était pas une pyramide, mais huit - un oignon de pierre aux multiples pelures. On apprit par des indications chronologiques que des constructions semblables se faisaient tous les cinquante-deux ans, de sorte qu'il avait fallu plus de quatre cents ans pour achever ce seul édifice. »

L'enseignement que l'on doit tirer de ces quelques citations de C.W. Ceram et de la photographie des pyramides amérindiennes concernant notre sujet, est bien la permanence d'une technique de construction par degrés, en pelure d'oignons, correspondant au premier épierrement, au premier cairn, au premier « Aha » : tas ou monceau de pierre des Pélasges.

12.11. Les édifices tumulaires dans le monde

Tumuli, cairns et dolmens, pyramides à degrés d'Egypte, nuraghi et torres, tholos, bazina, stupa, capitelles et bories, pyramides amérindiennes, et jusqu'aux barracas de Minorque, semblent bien participer d'un seul et même « continuum technique ». Tous ces tas, murs et murailles, édicules, habitats, sépultures, ou temples présentent tous une structure interne en

pelures d'oignon et une structure externe en degrés successifs, par le fait que c'est leur mode générique.

Bien d'autres édifices tumulaires dans le monde, appartenant à diverses cultures, seront à prendre en compte, dans une étude typologique exhaustive qui dépasse les limites de ce travail, pour le moment. Certains s'y sont intéressés, J. Kerisel et d'autres, sur la base d'une analogie de formes, sans prendre en considération l'aspect structurel « générique ». Cette étude devra être entreprise par la suite.

Les exemples illustrés suivants permettront d'illustrer notre propos.

Jéricho

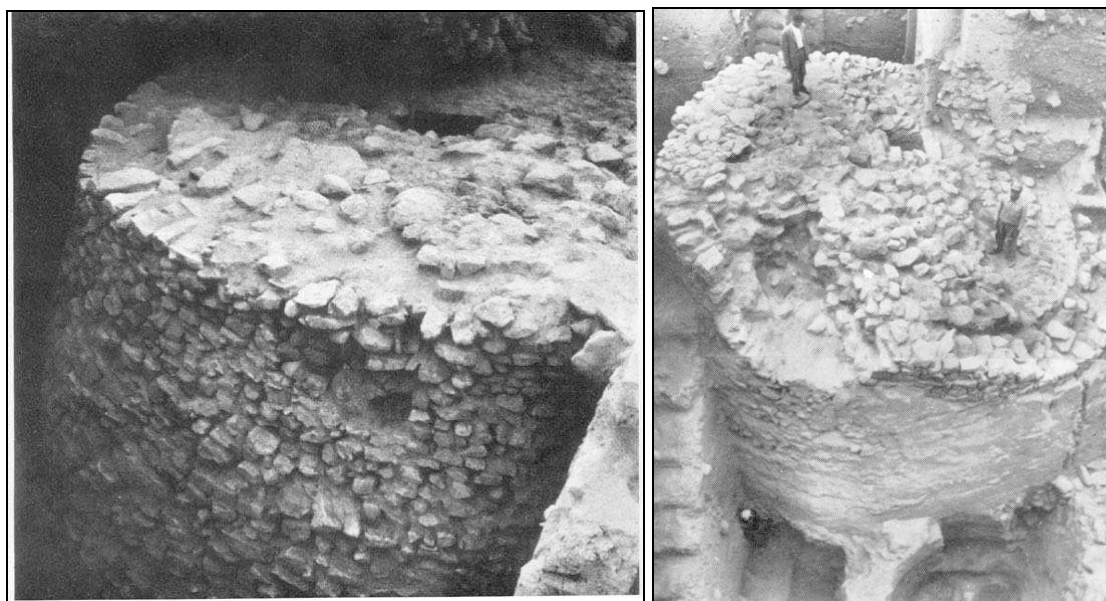


Figure 29. Tour de Jéricho composée de parements concentriques

Tertres, tumulus et mottes d'Europe Atlantique



Figure 30. Tumulus de Badbury Ring (Dorset, Angleterre)

Les Ziggourats sumériennes



Figure 31. Ziggourat d'Aqarqouf

Tholos et Nouraghi

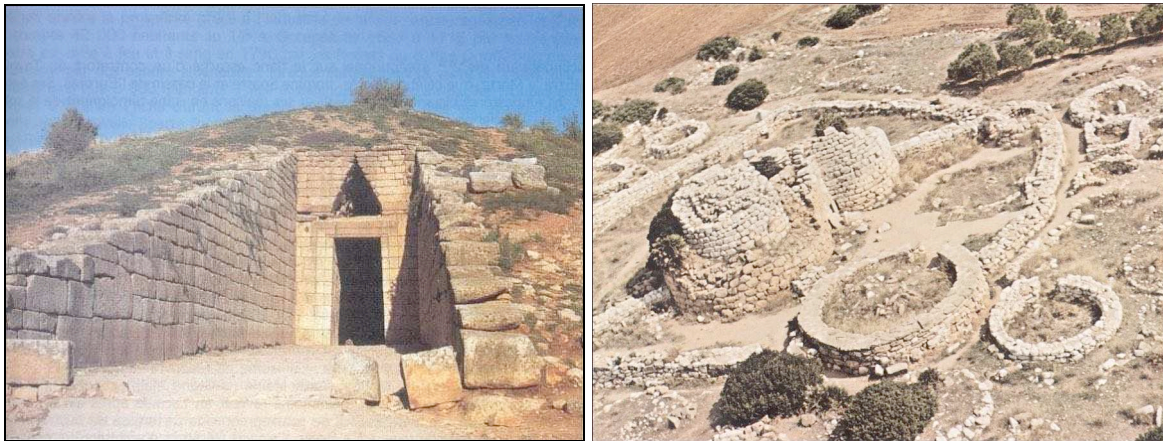


Figure 32. Tombe mycénienne ou Tholos(Grèce) et Nouraghi de Palmavera (Sardaigne)

Les stupas de tradition indienne



Figure 33. Edifice tumulaire Khmer, Bakheng à Angkor

Les Bazinas d'Afrique du Nord

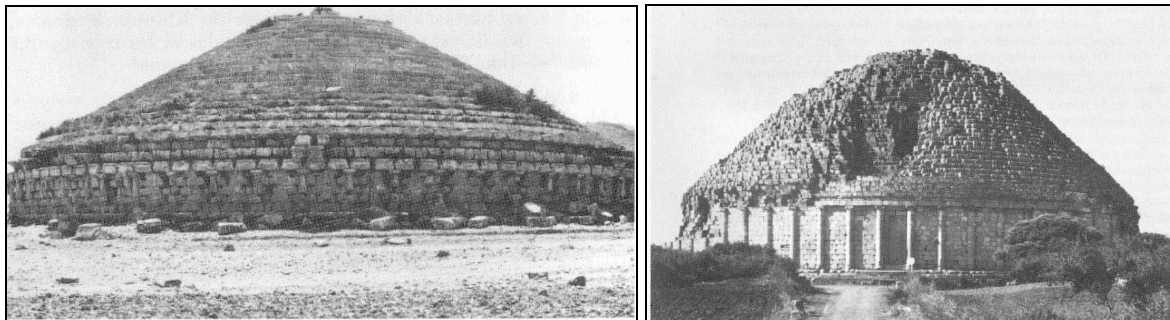


Figure 34. Le Medracen et le Tombeau de la Chrétienne en Algérie.

Les Fortifications et Oppida gaulois

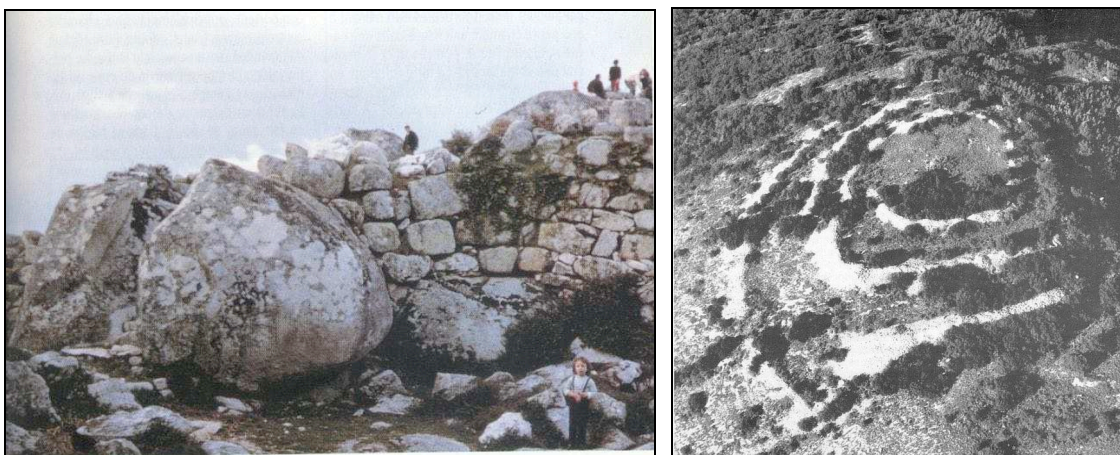


Figure 35. Mur cyclopéen de Cucuruzzu (Corse) et Oppidum du Pain-de-Munition (Var)

Ce continuum se développera et s'améliorera techniquement, et la pyramide de Khéops, merveille du monde, en est « l'expression magistrale et grandiose », en constitue une « grande avancée technique » et un « aboutissement » en termes de connaissance des procédés, des savoir-faire et de l'outillage, en même temps qu'une extraordinaire expression du travail et de l'intelligence des hommes propre à défier le temps.

Il est de fait que la construction d'un édifice d'une telle ampleur, soit 2 600 000 m³, a dû nécessiter la conjonction de plusieurs conditions essentielles : puissance organisatrice d'un état théocratique centralisé, expérience acquise et génie de la maîtrise d'œuvre, capacité d'utilisation des caractéristiques du gisement de matériaux disponibles sur le site, invention de l'outillage (le trépied) et du savoir-faire correspondant et enfin qualité organisationnelle de la logistique, du chantier et de l'intendance.



Figure 36. La pyramide de Khéops, 2.600.000 m³ de pierre calcaire empruntés au plateau de Gizeh

En effet, si la pyramide constitue bien une prouesse en tant qu'ouvrage, que penser des capacités organisationnelles nécessaires pour piloter un tel chantier. Si Hérodote a une fois encore raison, c'est 100 000 hommes renouvelés tous les trois mois qu'il va falloir acheminer tous les jours à pied d'œuvre, organiser en équipes, loger et nourrir.

Quoi d'étonnant alors que « *on a mentionné sur la pyramide, en caractères égyptiens, le montant de la dépense en raiforts, oignons et ail, pour les ouvriers ...* » dixit Hérodote.

Car même si les « ouvriers » étaient des esclaves, ce qui ne semble pas être le cas, même si la société égyptienne était basée sur le système des castes, il en est des ouvriers comme des animaux de trait ou de bât : ne pas outrepasser la limite de leur capacité d'effort, sous peine de mort.

Il faudra donc les nourrir, les loger, les faire se reposer, afin de reconstituer les forces de travail. Ceci implique d'éviter la canicule, de les loger dans la vallée, d'organiser le temps de travail et de repos, d'approvisionner la nourriture, l'eau, d'organiser les latrines, etc.

Cent mille hommes pendant les trente années qu'a duré le chantier, c'est une véritable « base de vie » dont on n'a pas d'exemple en Europe aujourd'hui, c'est une logistique de type militaire, c'est une véritable ville qu'il va falloir construire, structurer, urbaniser, policer. Là se situe la véritable prouesse. Si le cimetière des ouvriers est actuellement en cours de fouille, grâce au travail de Z. Hawass¹, cette ville qui n'a pas manqué d'exister, reste néanmoins à localiser et à découvrir.

Car, en termes techniques, à cette date, l'homme sait depuis longtemps déjà, dresser des menhirs, exhausser un mur défensif, accroître un tumulus par degrés, tirer et hisser une table dolménique (au moment opportun de la construction du tumulus), et monter une voûte d'encorbellement par degrés successifs concentriques² (Joussaume, 1985). Les constructeurs de Khéops se situent bien dans une expérience « pyramidale accumulée localement », qui, elle-même, est incluse dans un continuum technique, dont le départ est bien le procédé d'accrétion-exhaussement issu du fond des temps néolithiques.

« Exploiter alentour pour foisonner au centre », semble bien être un « principe universel » concernant l'ensemble des édifices tumulaires, constructions mettant œuvre, avec les moyens les plus rudimentaires, des quantités impressionnantes de matériaux, qui bien évidemment seront empruntés "en économie d'effort" au gisement sur place.

On peut même penser que de tels édifices ne peuvent être réalisés que si le gisement est présent en qualité et quantité, et facilement exploitable sur le site, ce qui laisse augurer des réelles motivations de leur implantation.

Les méthodes d'extraction en fonction des caractéristiques du gisement et de construction par « accrétion-exhaussement » semblent d'ailleurs tout aussi universelles. Ce qui conviendra néanmoins de confirmer par l'analyse de tous ces édifices tumulaires.

1. Une analyse du gisement local, géologie, tectonique, stratigraphie, pétrographie, et jusqu'au système de fracturation naturelle des roches, des Tumulus du Domaine de Bougon (Deux-Sèvres) est particulièrement démonstrative et autorise cette généralisation.

2. 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.

13. L'ETABLISSEMENT DES PREUVES

L'établissement des preuves de la validité des hypothèses-postulats que nous avons énoncés au début de ce travail, sont de plusieurs ordres : littéraire, méthodologique, géologique et archéologique. Elles concourent à former un faisceau de présomptions convergent.

Le texte d'Hérodote, et les deux termes techniques de « *bomides* » et « *crossaï* », explicitent une méthode de construction de « *créneau formant escalier* » où l'opération se résume à répéter la même manœuvre élémentaire, à l'aide d'une « *machine faite de courtes pièces de bois* » que l'on déplace ou que l'on multiplie. S'il reste encore à tester la « *machine* » en vraie grandeur, nous avons démontré qu'il y avait, dans le texte d'Hérodote, la description d'un véritable procédé constructif. Ce procédé est modélisable et induit un véritable « système constructif » interactif et prédictif, qui, dès l'abord, ne génère que de la pyramide. Il est « interactif » car, de sa pratique, découle la possibilité de réaliser en cours de construction, et comme nous l'avons déjà dit, l'ensemble des dispositifs intérieurs de la pyramide de Kheops, ainsi que de les justifier « fonctionnellement ». Il est « prédictif » car de son application résulte des dispositions particulières des blocs constitutifs qu'il faudra, dès lors, vérifier sur l'ouvrage lui-même, en terme d'archéologie.

L'étude géologique permet ensuite d'établir la corrélation directe entre les caractéristiques des matériaux fournis par le site local et des matériaux mis en œuvre dans la pyramide. La carte géologique nous donne les premières indications, l'examen de la stratigraphie des différents sites apportera les précisions précieuses quant aux matériaux disponibles et donc sur le choix des sites. D'une façon générale, le principe énoncé « emprunter alentour pour foisonner au centre » sera vérifié, même si cette vérification nécessite des études spécifiques complémentaires. Le cas de la pyramide de Djoser, dans la nécessité d'une vérification stratigraphique de l'Eocène Supérieur, qui reste à compléter, semble pouvoir offrir alors une explication des gisements, matériaux et mode constructif des pyramides à textes.

L'observation archéologique permettra enfin les ultimes vérifications et explication des positions, dispositions et dispositifs fonctionnels, zones d'emprunt des matériaux, caractéristiques des matériaux extraits, mode d'extraction sur les trois grandes pyramides de Gizeh, et plus particulièrement sur celle de Kheops, par l'examen attentif de la disposition des blocs du gros-œuvre, sur le sommet et les arêtes

Certes, les preuves objectives et définitives, à la fois du postulat d'exploitation des ressources du gisement local du site d'implantation, de l'utilisation des procédés constructifs évolutifs, « accroissement pyramidal » pour les grandes pyramides lisses et « accrétion-exhaussement » pour les pyramides à degrés, resteront à confirmer par une autorité reconnue dans chacune des disciplines scientifiques, techniques et opératoires concernées, synthétisées au travers d'une vision logique et logistique généraliste, celle qu'implique la pratique de l'Art de bâtir.

Cette vérification nécessitera un véritable programme complémentaire de recherche scientifique, technique et opératoire.

Pour l'heure deux missions de vérification en Egypte ont pu être réalisées dans le cadre de cette thèse, en novembre 2000 et en avril 2001. Leurs résultats sont présentés ci-après.

Au cours de ces missions, nous nous sommes consacrés au site de Gizeh avec une préoccupation portée sur les aspects géologiques et tectoniques, en particulier l'observation

des fracturations, des stigmates du mode d'extraction et des diaclases, les « massifs de base » des trois pyramides du plateau, les carrières et mastabas qui restent visibles, les fronts de taille et le profilage général des terrains jusqu'au Sphinx, y compris la chaussée qui descend du temple haut au temple bas de Khephren.

Nous avons aussi fait des observations sur la Grande Galerie de la pyramide de Kheops, ainsi que des repérages sur les ouvrages de Saqqarah et le plateau de Dachour.

13.1. Observations relatives au plateau de Gizeh

13.1.1. Contexte géologique, fracturation naturelle et zones d'emprunts

Le plateau de Gizeh appartient à la formation dite du Mokattam, d'une épaisseur de 120 m formée d'un calcaire blanc jaunâtre à nummulites. Il s'agit d'un plissement tectonique anticlinal orienté SW-NE indiqué par les failles portées sur la carte géologique, repérées in situ. Les strates qui le constituent ont des épaisseurs variables. La courbure du pli, le pendage des strates ainsi que le système de fracturation naturelle ont pu être constatées de visu, au sol et sur certaines assises des pyramides.

Les diaclases principales ont été observées, les diaclases transversales sont particulièrement repérables, orientées toutes à 270° (+ ou -) tandis que les diaclases longitudinales sont moins visibles.

Le premier niveau de fracturation principale traverse la première et la deuxième assise de la pyramide de Kheops à l'angle Nord-Est (on retrouvera cette strate sous la route à l'angle Nord-Ouest) et même jusqu'à la quatrième voire la cinquième assise sur la face Ouest de la pyramide de Khephren (figure suivante). Ceci indique que ces assises sont en fait des strates du plateau et qu'elles sont restées en place. Elles appartiennent au sol et non à la construction.

Désormais, on comprend mieux la présence de ces « blocs » énormes puisqu'ils sont restés en place.

La fracturation secondaire est, elle aussi, bien visible au sol du péribole (orientation) et les encoches d'extraction sont repérables un peu partout.

On observe que les trois pyramides sont implantées sur le même affleurement (Lutétien supérieur : Observatory Formation) qui fournit la pierre à bâtir (des pyramides).

On vérifie également qu'elles sont bien implantées parallèlement à l'axe du pli anticlinal, dans la partie où les strates sont les plus horizontales dont le pendage passe de $2-4^\circ$ Sud - Est à 7° en bordure orientale du plateau. Le réseau secondaire de fracturations (diaclases diagonales) qui déterminent les blocs à exploiter, se retrouveront donc d'orientation N-S et E-O, ce qui déterminera l'orientation des pyramides.



Figure 1. La fracturation naturelle se poursuit sur les premières assises des pyramides qui, donc, appartiennent à la roche mère du plateau (Khephren à gauche et Khéops à droite)

Par ailleurs, des reliquats de carrières ont été mis en évidence par Maragioglio et Rinaldi, au pied nord de Khephren (vides) où elles ont été dégagées et au pied Nord-Ouest de Mykérinos où elles sont encore pleines.

Un reliquat de carrière, en cours d'exploitation, à la cote 60, a été repéré à l'angle sud-ouest de la pyramide de Kheops. La carrière est coupée par la route, à l'ouest, et se prolonge au dessus et plus à l'Ouest, jusqu'à la cote 85.

Ce reliquat est particulièrement intéressant par le fait qu'il nous montre, dans le détail, la méthode d'extraction de massifs de roches, par le système du quadrillage de tranchées (de la largeur d'un homme, soit une coudée royale), entaillées au pic (voir figures suivantes).

Nous pouvons parier que les blocs unitaires, dans les zones d'emprunt, correspondent à ceux empilés en pyramide ; la photographie aérienne agrandie de la pyramide et du péribole de Kheops permet une première vérification visuelle (figure suivante) : les blocs empilés que l'on aperçoit en entier sur l'épaisseur d'une couche-enveloppe, à cause de la dégradation, semblent bien être de même taille et forme que les stigmates d'extraction. Bien sur, ces stigmates, visibles aujourd'hui, se trouvaient dissimulés sous le revêtement de calcaire blanc fin (dont il reste des reliquats ici ou là) peuvent être dus au nivellement pré-final du plateau, il n'empêche qu'ils affirment l'orientation et la fréquence des diaclases diagonales ; de plus elles indiquent que les blocs sont exploitables même en inter- strate, sans trop de difficultés.



Figure 2. Les stigmates d'extraction sur le péribole de Kheops donnent la dimension des blocs.

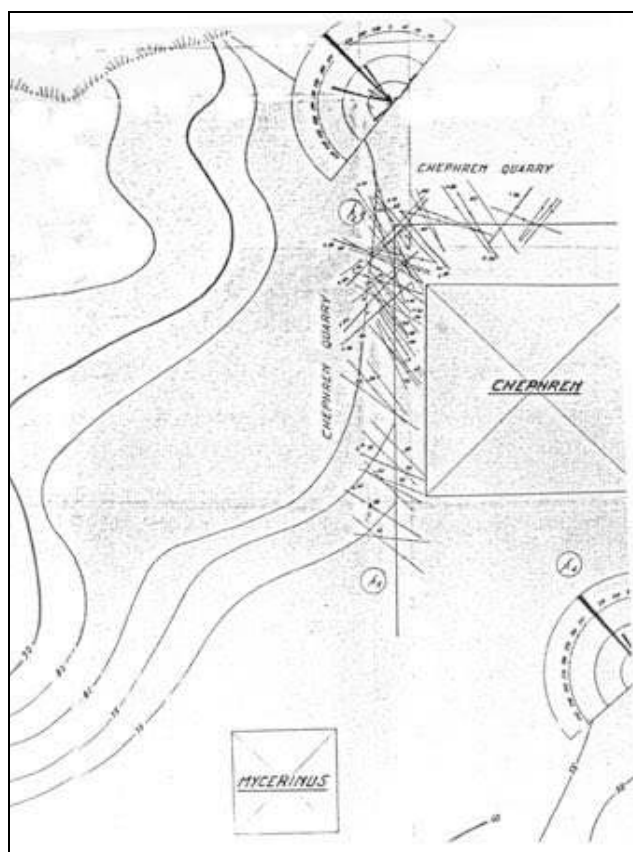


Figure 3. Diagramme du réseau primaire de fracturation et pendage des strates du plateau de Gizeh.

13.1.2. Modes d'extraction.

On peut y voir également des « boîtes » ou encoches qui semblent avoir servi au « démisage », c'est à dire à décoller le massif du sol ou de la strate inférieure.

Ces boîtes devaient recevoir les têtes de madriers de bois qui, par effet de levier sur un appui, permettaient ce travail. Pour ce faire, il fallait creuser ces encoches, toutes à la hauteur voulue, correspondant, bien sûr, au niveau du fond des tranchées latérales.

Ainsi, le massif se découpait-il le plus proprement possible.

Ces boîtes, creusées plus profondément que le plan de « démisage », laisseront des trous-stigmates au sol et sur le devant des strates laissées en place. Ces trous seront systématiquement rebouchés par des pierres-diaphragmes que l'on peut observer un peu partout .

Longtemps ces trous furent interprétés, à tort, comme constitutif d'un système de « niveau à eau » qui aurait permis de s'assurer de la parfaite horizontalité du pourtour des pyramides.



Figure 4. Reliquats de Carrières de Khephren (tranchées d'extraction) et stigmates d'outils d'extraction

13.1.3. Le quadrillage de tranchées

Sur l'ensemble du site de Gizeh, c'est à dire sur l'ensemble des carrières repérées, le quadrillage de tranchées correspond exactement à l'orientation du système secondaire des diaclases diagonales (gauches et droites) par rapport à l'axe du pli.

Les massifs ainsi « démisés », correspondent au module de quadrillage de tranchées, soit environ 3,25 mètres, pour le reliquat de carrière de Khephren (6 coudées royales). Ils sont, de l'avis partagé, trop gros et trop lourds pour être débardés, transportés et soulevés, et pour être mis en œuvre dans la construction. Ils devront être refendus en plusieurs parties (6), en se servant du système de fracturation secondaire .

La hauteur des bancs (strates) est variable, certains devront être délités pour correspondre aux dimensions moyennes et être utilisables à la mise en œuvre.

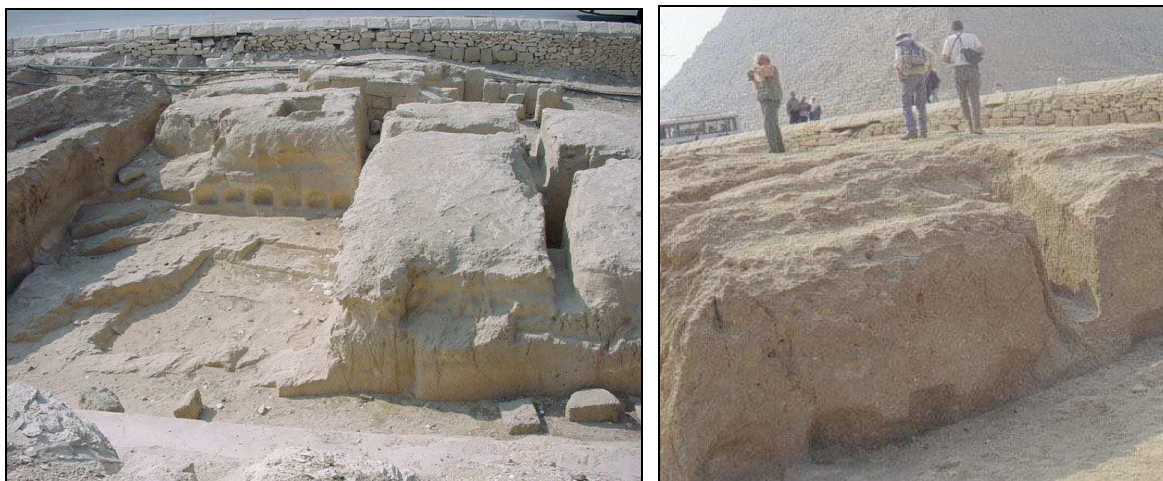


Figure 5. Reliquats de carrières à l'angle S-O de la pyramide de Khéops (tranchées d'extraction)

Au Nord et à l'Ouest de Khephren, la plate forme horizontale périphérique ou péribole (cote 70) est bordée par un front de carrière de 10 mètres de hauteur, en fait 15 mètres puisque le plateau a été exploité dessus. Ce plateau pré-existant atteignait la cote 85.

Ce front de carrière, sur lequel on aperçoit encore les traces du geste du carrier, au pic, laisse apparaître les strates (hauteur et pendage). Force est de constater que les hauteurs de strates sont trop importantes et qu'il faudra les dédoubler pour que les blocs soient d'épaisseurs admissibles.



Figure 6. Pendage des strates et traces des pics du carrier de la carrière de Khephren

A cet endroit le pendage est environ de 7° Est et 5° Sud : il imposera la technique de démisage par tranchées. Ce fait est vérifié par les traces de démisage que l'on retrouve encore au sol et qui avaient tant intrigué A. Pochan, traces que l'on retrouvera, pour les mêmes raisons, au plafond de la chambre souterraine de Kheops.

13.1.4. Les zones d'emprunt de Kheops

Elles sont à rechercher essentiellement à l'Est et à l'Ouest de l'ouvrage, zones recouvertes ensuite par les champs de mastabas de la nécropole. Le volume devra être estimé et la restitution du plateau pré-existant établie précisément.

Il semble que l'on puisse tabler sur une ligne de pente qui correspondrait au sommet des grandes mastabas de part et d'autre, soit la cote 82 à l'Ouest et la cote 60 à l'Est.

Ceci impliquerait une superficie de zone d'emprunt de 30 à 35 hectares sur une hauteur moyenne de 9 à 10 mètres, soit un volume de matériaux de 2600000 m³, compte tenu des pertes d'exploitation dues à la fracturation principale et au volume des tranchées d'extraction.

L'examen du versant nord du champs des mastabas, en amont de la pyramide a permis de repérer différents fronts de tailles d'une exploitation par paliers.

Quant à la rampe ou « allée montante » qui reliait la plaine alluviale (cote 20) au bord Est du plateau (cote 60), depuis longtemps entamée et aujourd'hui noyée dans l'urbanisation, il est néanmoins possible, depuis le bord du plateau, d'en apercevoir des reliefs et de comprendre que les constructions les plus anciennes (fermes et habitations) construites sur son tracé, sont faites de matériaux qui lui ont été empruntés. On aperçoit les gros blocs de pierre qui la constituait, et le petit appareil des bâtisses, obtenus par débit.

Cette rampe d'accès au plateau était faite de blocs empruntés à la falaise, sans doute, et non pas de terre alluvionnaire, qu'il aurait pourtant été facile de prendre dans la plaine. Là encore, les tenants de théories « rampistes » utilisatrices de « levées de terre » devront réviser leur approche.

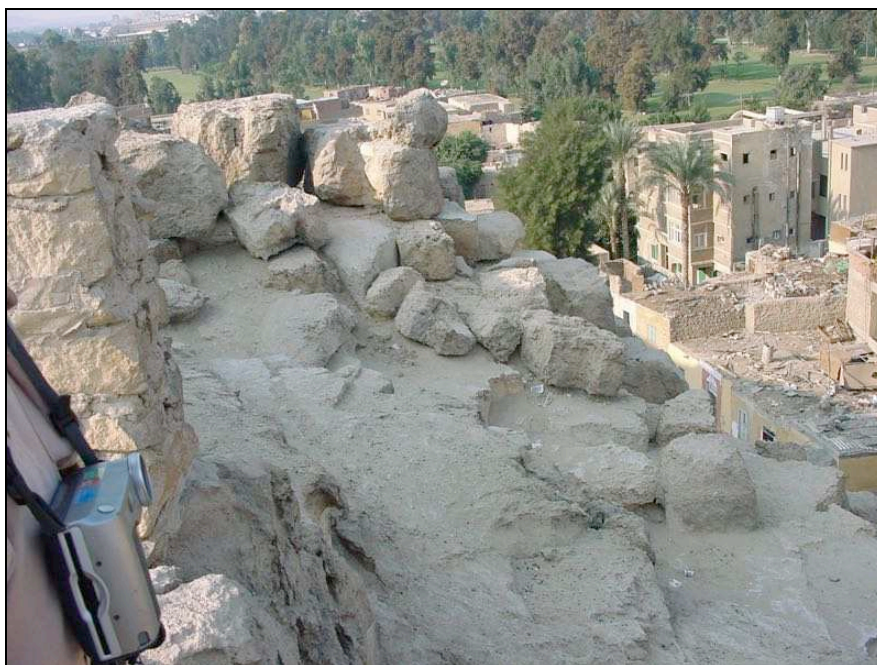


Figure 7. Au pied de la falaise Est, les blocs de pierre du relief de « l'allée montante » de Kheops (photo T.Verdel)

13.1.5. Les zones d'emprunt de Khephren

En ce qui concerne les zones d'emprunt de matériaux de Khephren, le problème semble légèrement différent, il est en effet difficile de trouver une zone conséquente d'extraction à l'Ouest, sauf, sans doute, mais sur une faible épaisseur (1 à 2 mètres), sur la première plate bande, car on aperçoit à la lumière rasante du crépuscule une sorte de damier qui pourrait correspondre aux allées de débardage (usure due au passage).

C'est donc à l'Est qu'il convient de chercher les zones d'emprunt.

Cette recherche débouche sur l'énigme du Sphinx, c'est à dire la question de sa constitution : en effet, le corps du Sphinx, strates et pendage, correspond, à l'évidence, aux strates et au pendage de la roche mère environnante. Ce corps, constitué d'une « laisse de carrière », en a été dégagé par extraction périphérique.

Quant à la tête du Sphinx, qu'en est-il exactement ? Haute de 9 mètres au dessus du corps (cote 34), peut-elle être, a priori, considérée, elle aussi, comme faisant partie de la « laisse de carrière » ou faut-il se résoudre à imaginer qu'elle a pu être rapportée ? Mais, alors, où aurait-elle été empruntée ?



Figure 8. Le corps du Sphinx appartient bien au plateau...mais la tête ?

En fait, le sommet de la tête du Sphinx correspond exactement au niveau du sol naturel du champs Est des mastabas de Kheops (après exploitation) et les strates que l'on peut observer sur son visage semble bien correspondre au sol environnant.

La hauteur (cote 43) de la tête du Sphinx nous indiquerait donc la hauteur d'exploitation de la carrière, soit 9 mètres, à l'Est de la pyramide de Khephren.



Figure 9. La roche mère est repérable sur Khephren (à gauche), la tête du Sphinx est une laisse de carrière (à droite).

Ceci est d'autant moins visible, aujourd'hui, que le front de la faille longitudinale, indiquée sur la carte géologique a été « mangé » par l'exploitation et l'ensemble des sépultures des diverses époques ont modifié le sol. Néanmoins, il est possible d'apercevoir un témoin-naturel (strates et pendage) au Sud-Est de la Tombe dite de Campbell, qui marque le bord de la faille indiquée sur la Carte géologique du Caire et des environs.

Le temple haut semble bien être contenu dans cette épaisseur d'exploitation, et les blocs énormes qui le constituent seraient simplement restés en place.



Figure 10. Une partie des énormes blocs du Temple haut appartient aux strates du plateau

Les imposants blocs de roche qui constituent les temples bas, temple bas de Khephren et temple du Sphinx, font partie, sans doute aussi, en grande partie, du sol naturel en place, puisqu'ils se situent en dessous du sol de carreau de carrière (le niveau du dos du Sphinx), soit environ la cote 34 : ils n'auraient donc pas été déplacés.



Figure 11. Les Temples bas de Khephren et du Sphinx font sans doute partie du plateau.

13.1.6. Les zones d'emprunt de Mykérinos

A l'angle nord-ouest de la pyramide, le reliquat de carrière repéré peut être perçu plus largement, on observe en effet un front d'extraction de plusieurs bancs. De ce fait, il serait intéressant de dégager cette carrière et de la mettre en valeur permettant une lecture directe de l'exploitation.



Figure 12. Reliquats de carrières ensablées de Mykérinos :plusieurs strates ont été exploitées (photo Altitude)

13.1.7. Conclusion relatives au plateau de Gizeh

Le tracé général du pendage des strates, repéré sur le site par l'examen des différentes zones d'extraction, fait apparaître un pli anticlinal dont l'axe est Nord-Est / Sud-Ouest, parallèle à l'alignement des trois pyramides, et le sommet (du pli), là où les strates sont horizontales, se situe environ à 300 m au nord-ouest. Chacune des trois grandes pyramides est implantée en diagonale par rapport à cet axe (du pli), dans la même orientation que les tranchées d'extraction des carrières, en fait selon l'orientation des diaclases diagonales gauches et droites de la fracturation secondaire. C'est à dire que chacune des trois grandes pyramides de Gizeh, et en particulier la pyramide de Kheops, se retrouve orientée Nord /Sud et Est/Ouest, sur les quatre points cardinaux.

Une étude géophysique, géologique et tectonique, stratification et fracturation naturelle des roches, s'impose désormais à la communauté scientifique, ainsi qu'une modélisation du site actuel pour la reconstitution du site préexistant, en 3 dimensions, afin d'affiner, outre leur nature, la détermination des emplacements et des volumes des matériaux empruntés.

13.2. Observations relatives au site de Saqqarah

Au delà des indications fournies par la carte géologique, la visite et l'analyse du site de Saqqarah, et de la pyramide de Djoser en particulier, sont particulièrement intéressantes, tant

pour la géologie que pour la topographie.

En fait, si les matériaux constitutifs de la pyramide de Djoser semblent bien correspondre aux indications générales de la carte géologique, les observations topographiques et la recherche des zones d'emprunt posent de nombreux problèmes que personne, à notre connaissance, n'a soulevés jusqu'ici.

Le principe premier : « exploiter alentour pour foisonner au centre » serait-il mis en doute ?

13.2.1. Pyramide de Djoser

La pyramide de Djoser est le prototype des pyramides à degrés de la III^{ème} dynastie, elle est bâtie sur un affleurement de cailloutis de silex (mentionné ci-avant) plus ou moins consolidé, formant terrasse, d'environ 0,80 mètre d'épaisseur, lui-même reposant sur un banc marneux d'environ 2 mètres, qui affleure au sol de la cour sud (point n°1, figure suivante).

Ce soubassement, parfaitement repérable, règne à la cote 54,6. Il a été repéré à de nombreux endroits sur le site, dans le puit du complexe funéraire de Djoser (point n° 2) et de part et d'autre du talweg entre les complexes de Djoser et Ounas (point n° 3, figure suivante). Cette observation, de l'ordre de la pédologie-topographie, semble être inédite, ou pour le moins demeurée discrète, tant il est vrai que jusqu'alors le souci des observateurs n'a jamais été porté sur les matériaux et encore moins sur les zones d'emprunt.

L'affleurement de cailloutis est tout aussi repérable à l'Est, proche du Resthouse (point n° 4) construit sur le promontoire rocheux dans lequel se trouvent la Tombe du Vizir Aper El et à l'arrière de la maison des archéologues français, dite « maison Lauer » (construite par J.Ph. Lauer en 1925).



Figure 13. Point n° 1 (à gauche) et Point n° 3 (à droite)

D'un point de vue topographique, la cote 55 est révélatrice de la présence de matériaux superposés à cette terrasse de cailloutis, par exemple à l'Ouest de la pyramide de Djoser et à l'intérieur même de son complexe funéraire qui atteignent la cote 63,2.

Plus proche de la vallée, à l'Est, la cote est de 58,7. Au Sud Ouest, près de la pyramide de Sekhemkhet, elle est de 63,2 puis de 65 au Nord Est près du mastaba de Mérérouka proche des bâtiments du Service des Antiquités.

Plusieurs hypothèses contradictoires relatives à la constitution et à l'origine des matériaux situés au dessus de la cote 55 ont été avancées :

- ces matériaux correspondent à un dépôt géologique postérieur au cailloutis ;
- ces matériaux appartiennent au massif sous-jacent ;
- ces matériaux ont été rapportés sur le site par une action humaine ;

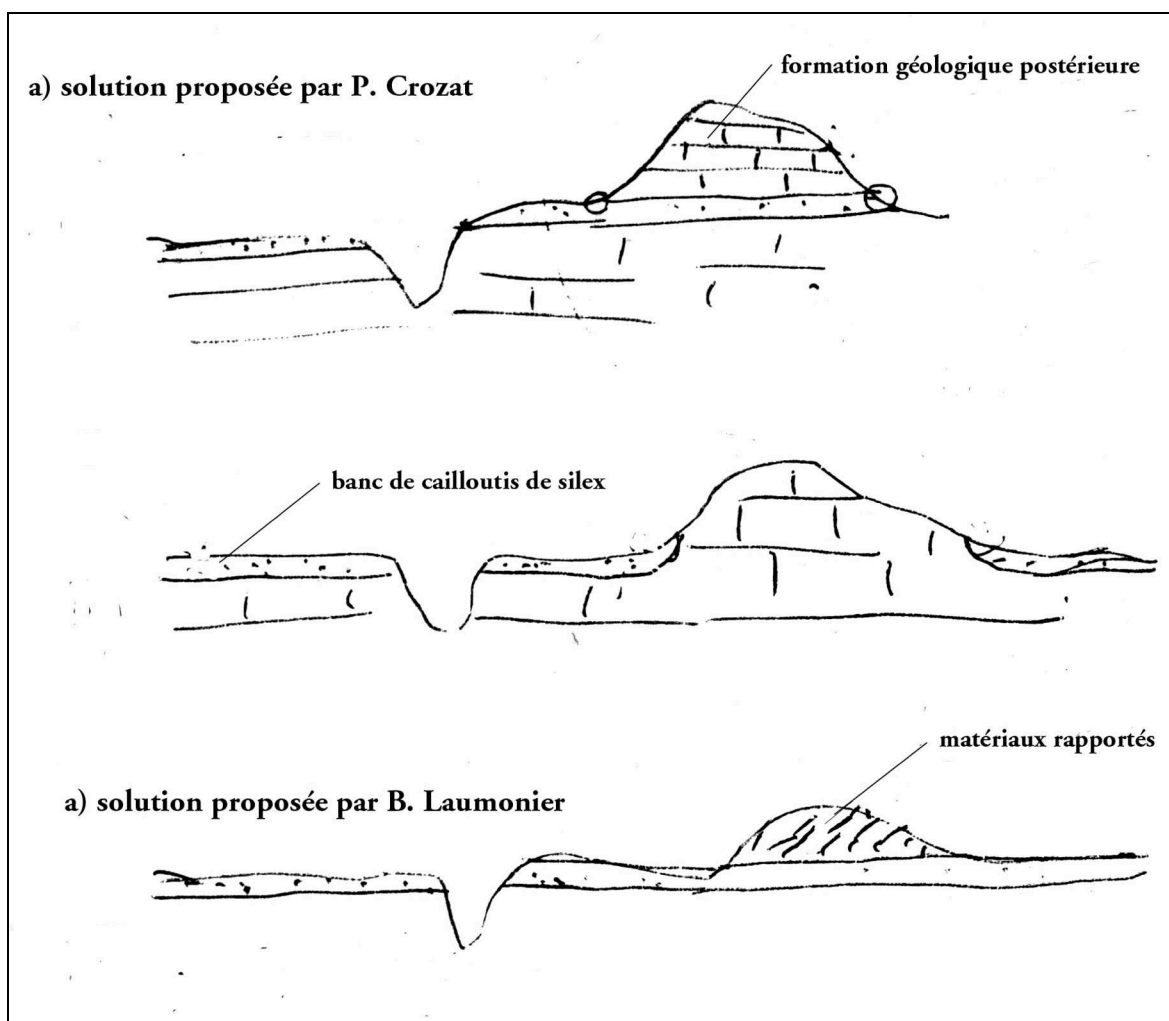


Figure 14. Le gisement de matériaux constitutifs de la pyramide de Djoser à Saqqarah (B. Laumonier est Maître de Conférences à l'Ecole des Mines de Nancy)

La recherche des caractéristiques des couches de matériaux supérieures à la cote 55 (bancs de cailloutis) a permis le repérage du même banc de cailloutis consolidé et de sable rouge à plusieurs endroits :

- à l'Est, le long de la route qui mène sur le plateau (cote 55) (Point n° 5)
- à l'Ouest, de l'autre côté du Restaurant (Point n°6)
- et peut-être à l'extrême Nord-Ouest, au pied de la colline qui ferme l'horizon, à environ une demi-heure de marche (Point n°7, non vérifié de près).

Tous ces points, comme ceux mentionnés précédemment, se trouvent donc dans le même plan horizontal à la cote 55, sans pendage apparent.

Les matériaux qui se trouvent au-dessus de ce banc de cailloutis, formant la colline haute d'une vingtaine de mètres, n'ont pas encore pu être identifiés.

Comme le montre le plan de la figure suivante, l'ensemble du Plateau sédimentaire de Saqqarah, dont la colline serait peut-être le niveau général d'origine, a subi les effets de l'érosion de ruissellement qui aurait laissé différentes buttes témoins plus ou moins hautes, certaines à hauteur du cailloutis (Points n° 6), d'autres supérieures au cailloutis dont les matériaux (supérieurs) auraient alors servi à construire les pyramide de Djoser et de Sekhemkhet, « en empruntant autour pour foisonner au centre ».

La carte géologique du Caire (1983) indique la présence, au-dessus du sol d'assiette de Djoser (*TemRv : Middle Eocène – Ravine Beds – Marl and marly limestone with clay interbeds, 69 m thick.*), d'une autre formation (*TeuMd : Maadi Formation –Fossiliferous sands and sandstones with clay and marl at base, capped by a 6m brown, fossiliferous sandy limestonebed (Ain Musa Bed), 59 m thick.*).

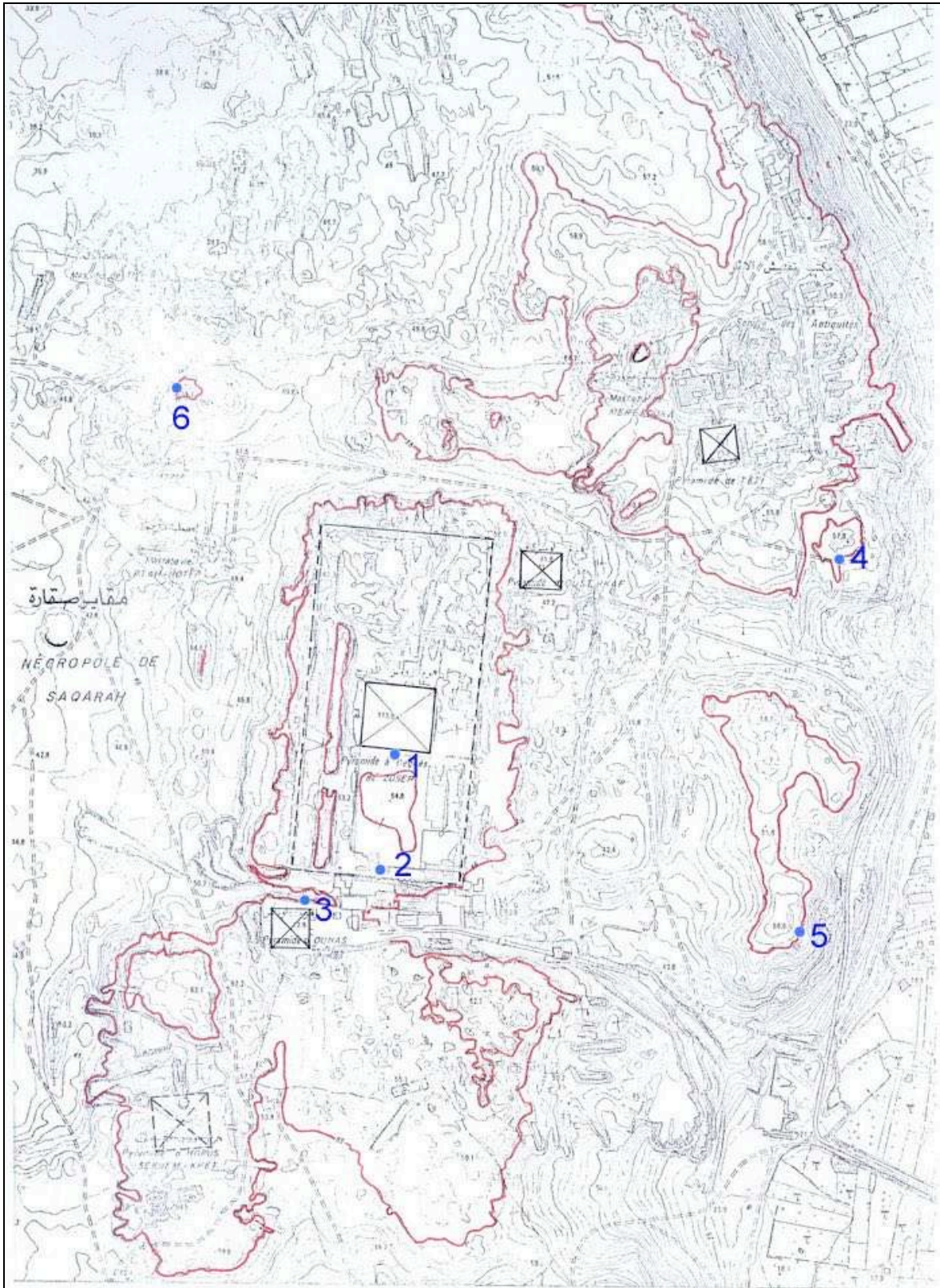


Figure 15. Orthophotoplan du Plateau de Saqqarah et points d'affleurement du cailloutis

13.2.2. Pyramide d'Ouserkaf (Vème dynastie)

Elle est implantée topographiquement plus bas, à la cote 47,7, et peut-être même dans une doline (cône de dissolution des calcaires).

Elle est constituée de roches calcaires, calcaire plus franc et plus compact, sous-jacentes au banc d'argile et que l'on retrouvera sur le rebord du plateau à l'Est (Tombeaux aux chats).

13.2.3. Pyramide de Pepi Ier (VIème dynastie)

Cette pyramide est implantée à la cote 42,52. Elle est caractéristique des « pyramides à texte » de cette période. Elle est constituée de plusieurs parées concentriques de blocs moyens de calcaire (on en aperçoit deux, peut être trois) qui enserrant des matériaux calcaires, parpaings et éclats tout-venants, formant des degrés. Ces degrés sont ensuite comblés par les backing-stones sur lesquels est appliqué le parement final fait de gros blocs de calcaire fin qui seront ravalés, pour aboutir à une forme géométrique pure et lisse de pyramide.

Le procédé de construction est apparenté au mode de construction par degrés, sauf que les parées successives sont constituées d'un matériau tout-venant (découverte et éclats de taille) enserré dans des parements de blocs appareillés de taille moyenne.

Les divers matériaux de construction sont empruntés sur place, seuls les monolithes des chevrons de la chambre sépulcrale peuvent poser un problème d'approvisionnement, à moins qu'ils n'aient été empruntés sur place. Il conviendrait d'effectuer un sondage pour connaître la stratigraphie du site.

13.2.4. Pyramide d'Ounas (Vème dynastie)

Elle est implantée sur la même terrasse de cailloutis consolidé, à la cote 55, que l'on trouve au sol de la cour de Djoser. Elle est constituée de parées concentriques de blocs de calcaire franc de gros appareil, enserrant des matériaux tout-venant et formant gradins. Ces gradins sont comblés par des backing-stones d'appareil moyen qui reçoivent le parement définitif de calcaire fin.

Certains blocs sont imposants, à l'angle Sud-Est, un monolithe est estimé à 18-20 tonnes. Il semblerait que cette pyramide ait été réparée dans l'Antiquité.

Les matériaux constitutifs de cette pyramide ne sont pas repérables en surface sur le site, ils sont sans doute d'une autre provenance, soit souterraine soit éloignée en pied de plateau, soit très éloignée.

A l'Est proche de la pyramide, il existe un puit d'environ 100 m² et d'une vingtaine de mètres de profondeur qui montre les différentes strates de matériaux sous-jacents. Le fond (cote 35) est situé au même niveau que celui de la chambre funéraire du Tombeau de Ti (situé de l'autre côté du plateau, au Nord). La qualité du banc calcaire inférieur semble similaire.

Les dimensions d'un tel puit pourraient correspondre à une cheminée ou puit d'extraction

d'une carrière en puit et/ou souterraine (d'après Maspero) d'où la masse des matériaux auraient pu être tirée. Nos recherches bibliographiques n'ont pas permis d'approfondir ce point. Peut-être Maspero a-t-il fouillé ce puit, sinon de telles fouilles nous semblent nécessaires pour vérifier cette hypothèse.

13.2.5. Pyramide de Mérenré (VIème dynastie)

Elle est implantée à la cote 46,06. Encore en cours de fouille à l'intérieur, elle présente une masse informe éventrée par le pillage, la structure interne ne semble pas comporter les mêmes parées de blocs calcaire appareillés et la maçonnerie visible semble plus petite et moins bien réglée que celle de Pépi Ier.

La chambre sépulcrale (fouilles menées par Audran Labrousse et Catherine Berger), en cours de reconstitution, comporte un ciel en arc de décharge en chevrons (trois étages de chevrons superposés) composé de monolithes de calcaire de taille imposante. Le Serdab est quant à lui couvert de dalles de calcaire horizontales imposantes.

Il faut s'interroger sur la provenance de ces monolithes de calcaire et leur mise en œuvre, et l'interprétation donnée de leur provenance de la rive Est du Nil n'est pas très convaincante, car elle poserait de sérieux problèmes de transport et de mise en œuvre.

Comme ailleurs, des sondages géologiques pourraient être intéressants et offrir le gisement correspondant.

13.2.6. Conclusion relatives au plateau de Saqqarah.

D'une façon générale, le travail de fouilles archéologiques s'attache à trouver, répertorier et décrire les ouvrages, voire parfois à les mettre en valeur et les rendre ainsi plus lisibles au visiteur. Rarement il s'agit de chercher à comprendre et à expliciter leur structure, encore moins leur mode de construction, même si la mise en valeur les exprime. C'est le cas de la pyramide de Pépi Ier en ce qui concerne les parées successives et les backing-stones, ainsi que des pyramides de Mérenré et Pépi Ier en ce qui concerne les monolithes de calcaire qui forment le couverture en chevron des chambres sépulcrales.

Notre raisonnement nous invite à rechercher sur le site même, c'est à dire dans la réalisation de l'excavation de la fosse (la cuve) qui contiendra ensuite la chambre et le serdab, les matériaux utilisés pour construire ces ouvrages. En effet, ce principe est courant, au niveau de l'architecture vernaculaire.

Une étude plus approfondie des gisements locaux de pierre situés à la même cote pourrait nous éclairer sur la possibilité d'emprunt in situ et la vérification du principe vernaculaire énoncé.

13.3. Observations relatives au plateau de Dachour

D'après notre hypothèse selon laquelle les matériaux constituant les pyramides sont empruntés alentour sur le site d'implantation, le plateau de Dachour, tant pour la pyramide « Rhomboïdale » à Dachour-Sud que pour la pyramide « Rouge » à Dachour-Nord pose un problème d'importance. En effet, aucun gisement, aucune zone d'emprunt n'est visible, à première vue, sur le site de ces deux premières grandes pyramides de la IV^{ème} dynastie.

Il faudra chercher plus loin, alentour à l'horizon, pour apercevoir, dans la topographie générale du site, modelée par l'hydrogéologie, des buttes témoins et des coteaux où apparaissent, à différents niveaux, des gisements rocheux horizontaux, composés de bancs de pierre, plus ou moins érodés. Néanmoins il ne faudrait pas imaginer, étant donné la distance, que l'exploitation de ces gisements ait pu servir à construire ces ouvrages.

En fait, sur le plan du principe, il semble plus logique d'envisager, sur place, la présence préalable d'un gisement pierreux de surface de même type que ce que l'on aperçoit au loin, gisement qui aurait été réduit par la fourniture des matériaux apportés et mise en œuvre en pyramide, au milieu de son gisement. Le site ne laisse alors à voir et contempler que la pyramide, seule sur sa butte témoin, mais dont le gisement pierreux de surface alentour aurait été complètement épuisé par l'ouvrage.

13.3.1. Dachour nord et la pyramide « Rouge »

La pyramide « Rouge » (231 m de côté à la base et 99 m de hauteur) apparaît aujourd'hui dans son volume de gros œuvre, le revêtement final en pierre blanche et fine (pierre de Tourah ?), étant en grande partie tombé en éboulis au pied de la pyramide, laissant visible la pierre brute du massif de gros-œuvre. Sauf vers l'entrée, de nombreux blocs du revêtement ont été dégagés et rangés à l'écart.

La pierre du massif de gros œuvre, un calcaire marneux, caverneux, ocre jaune à l'érosion éolienne devenant rougeâtre à la patine au soleil, est particulièrement repérable puisqu'elle contient de très nombreux fossiles d'huîtres qui permettront la datation géologique des sols.

La pyramide est située sur une surface en plateau, dégagé par le ruissellement d'un système hydrologique ancien ayant formé une butte témoin comme on en aperçoit d'autres à l'horizon. Les matériaux pierreux du gisement préalable situés sur cette butte témoin où a été implantée la pyramide « rouge » auraient été, en grande partie, épuisés. On pourrait sans doute retrouver des reliquats de ce gisement à l'ouest, à environ 300 m, en zone militaire inaccessible (malheureusement).



Figure 16. Matériaux constitutifs de la pyramide « rouge » : les bancs d'huîtres sont repérables

13.3.2. Dachour sud et la pyramide « Rhomboïdale »

Cette pyramide est atypique (188 m de côté à la base et 97 m de hauteur), puisqu'elle comporte deux pentes différentes ($54^{\circ}14$ et $42^{\circ}59$) et deux systèmes de descenderies sur les faces nord et ouest conduisant à des chambres sépulcrales construites en encorbellement.

Son revêtement final de calcaire fin qui semble plus vif et dur que le calcaire de Tourah (pierre actuellement extraite beaucoup plus profondément qu'à l'époque), est encore en grande partie en place et en bon état de conservation.

Le massif de gros œuvre est constitué d'un calcaire marneux jaunâtre comprenant des fossiles d'huîtres et de coques, que l'on retrouve sur une butte témoin au sud-est, à moins d'une demi-heure de marche. Des échantillons permettraient de comparer.

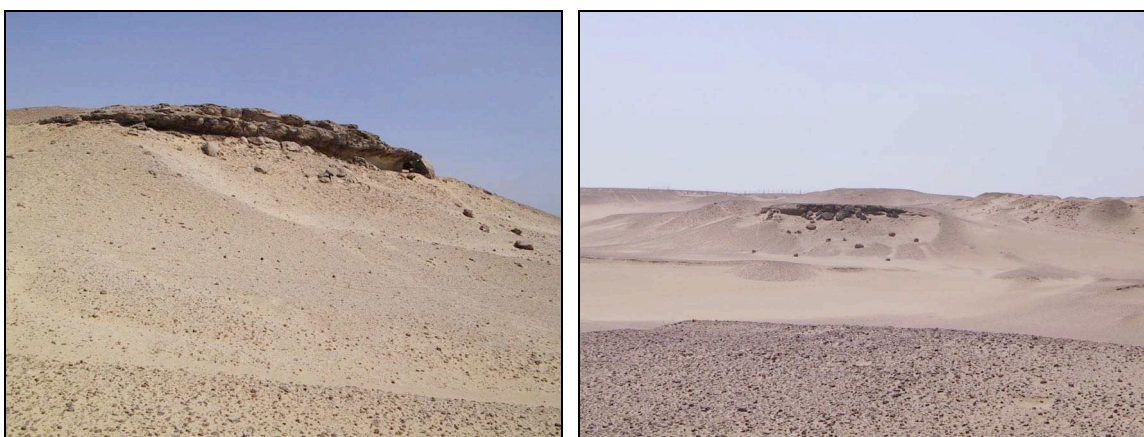


Figure 17. Les bancs de calcaire marneux affleurent, aux abords du site d'implantation

13.3.3. Conclusions relatives au plateau de Dachour

L'hypothèse avancée semble pouvoir être maintenue et devoir se vérifier, du moins par des analyses géographiques, topographiques, pédologiques et pétrographiques. Cependant cette vérification, pour être scientifiquement attestée, nécessiterait un sondage (carottage), une étude géologique approfondie et une analyse géochimique comparée.

13.4. Observations relatives aux trois grandes pyramides de Gizeh

Mieux étudiées que toutes les autres pyramides (en particulier celle de Kheops), les trois grandes pyramides lisses de Gizeh nécessitent une vérification archéologique attentive.

Nous ne reviendrons pas sur les dispositifs intérieurs de la Grande Pyramide, qui, tel que nous l'avons développé, impliquent l'utilisation du système constructif « d'accroissement pyramidal », procédé de construction du massif de gros-oeuvre adapté aux gros blocs fournis par le plateau, pour nous intéresser aux observations externes, sur la pyramide elle-même, sommet et arêtes, sur le péribole et plus largement sur les zones d'emprunt des matériaux.

13.4.1. Disposition des blocs au sommet de la pyramide de Kheops

Les photographies aériennes dont nous disposons, nous permettent de penser que les dessins du sommet et des arêtes, en restitution optique « camera lucida » réalisées par E. W. Lane en 1827, sont fiables ; contrairement au dessin « artistique » de V. Maragioglio et C. Rinaldi (L'architettura delle piramidi menfite, 1965) qui s'avère « fantaisiste ».

Le système « d'accroissement pyramidal » est réputé « prédictif ». Il impose une disposition des blocs en « boutisse », c'est-à-dire que les blocs sont disposés perpendiculairement à la face considérée. Du fait de l'écrêtement du sommet de Kheops (ce qui n'est pas le cas pour Khephren), la disposition des blocs du sommet est vérifiable (figures suivantes) et montre la justesse de la restitution faite par E.W. Lane.



Figure 18. Sommet écrêté de la pyramide de Khéops, en vue latérale à gauche (photo Altitude) et vue plongeante à droite.

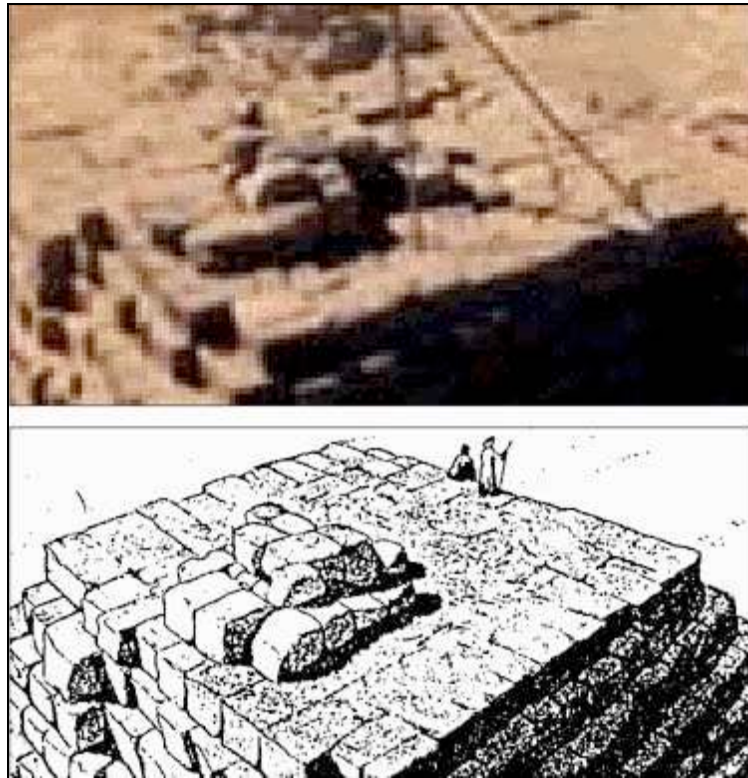


Figure 19. Cette comparaison montre que la restitution optique de E.W. Lane est vérifiée

L'analyse de cette disposition nous est alors nécessaire en référence au « modèle » (ce qui démontre bien l'utilité scientifique d'une modélisation). En donnant une couleur par face de la pyramide, on vérifie alors que, sur chacune d'elles, les blocs semblent bien être disposés en « boutisse ».

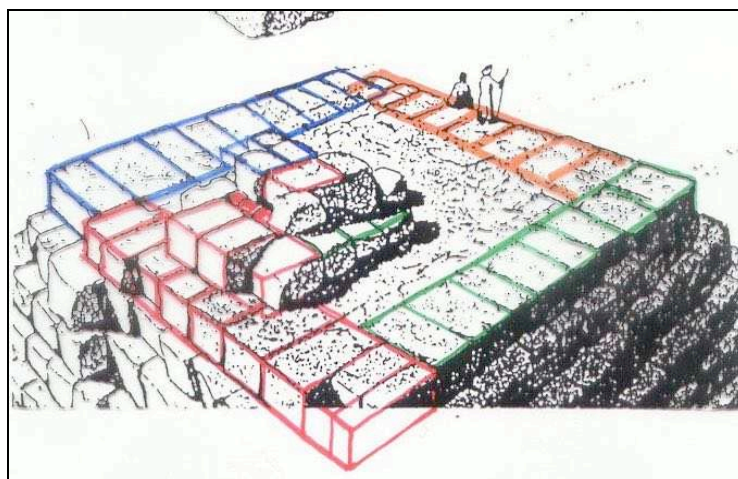


Figure 20. Interprétation de la disposition des blocs du sommet de Khéops selon le modèle prédictif. Avec une couleur par face, la vérification semble assurée.

Néanmoins, une vérification supplémentaire nous semble nécessaire par une vue aérienne, à la verticale, du sommet.

13.4.2. Les blocs du sommet de la pyramide de Khéops sont entaillés

Les entailles des blocs que nous avons observées au chapitre relatif à la provenance des matériaux, rendues nécessaires par l'exploitation directe des strates (différentes) du plateau, composant ainsi « *l'appareillage horizontal à décrochement* », sont, elles-encore, des preuves tangibles de l'utilisation (voire de l'obligation d'utiliser) le procédé « d'accroissement pyramidal ».

Si on peut admettre que, dans le cas de la construction par assises qu'impliquent les théories « rampistes » quelles qu'elles soient, il y ait aussi nécessité d'offrir à chaque bloc un plan de pose horizontal, l'inégalité du plan général, dû aux blocs de différentes épaisseurs, interdira la possibilité de traîner des blocs sur une telle surface pour les approcher de leur position de mise en place. Paradoxalement, ce sont les théories « rampistes » qui imposent que tous les blocs d'une même assise soient d'une même épaisseur, calibrés, ce qui, à l'évidence, n'est pas le cas. De plus, rien ne saurait justifier une telle pose en « boutisse » qui ne pourrait alors n'être que fortuite.

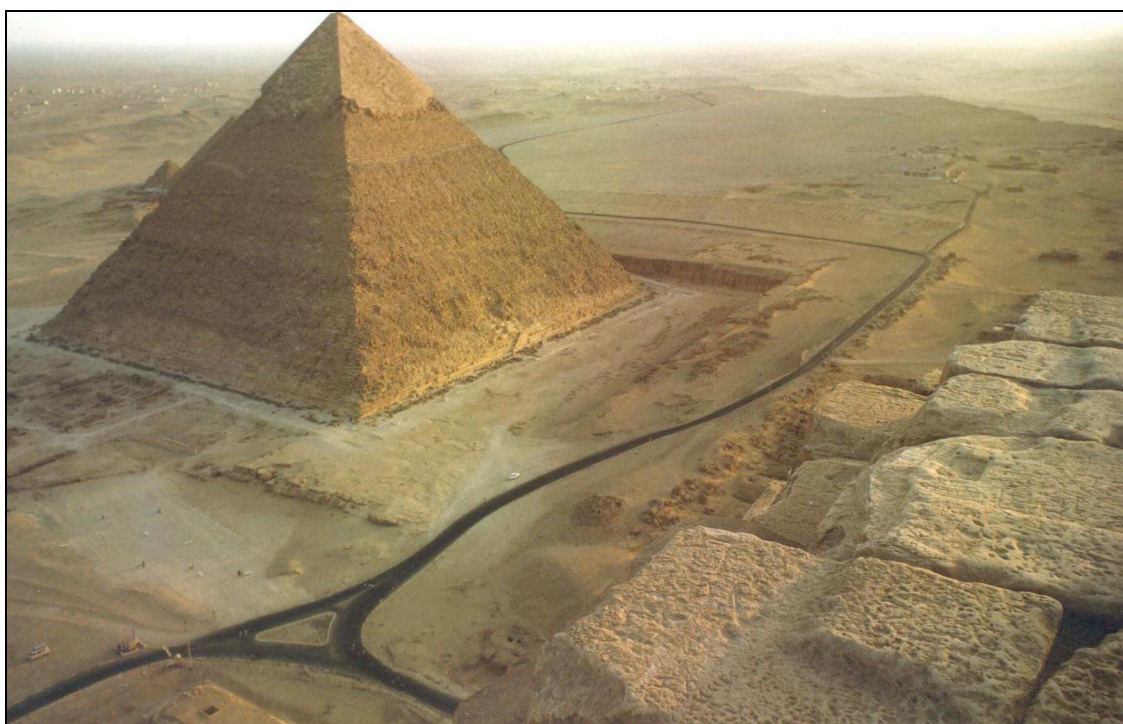


Figure 21. Entailles visibles dans les blocs du sommet de la pyramide de Kheops (à droite)

13.4.3. Les arêtes de la pyramide de Kheops

L'observation de la disposition des blocs sur les arêtes de la pyramide de Kheops, aux endroits les moins dégradés, permet une troisième concordance. En effet, le bloc d'angle étant

facile à faire tomber (ce qui n'a pas manqué d'être fait), puisque disposé en « boutisse », il est alors possible de vérifier cette disposition des blocs, sur chacun des arêtes.



Figure 22. Arêtes S-E et S-O de la pyramide de Khéops : le « *créneau formant escalier* » est visible

Le dessin exécuté par E. W. Lane (en camera lucida, en 1827) qui nous a été remis par J. Thomson (professeur d'Histoire à l'Université américaine du Caire, qui vient de publier « The description of Egypt », 2001) est, à l'instar de la restitution du sommet, particulièrement précis et précieux. Il nous permet, là encore, en nous référant au « modèle » (en appliquant alors une couleur par enveloppe) de bien montrer les enveloppes successives de « l'accroissement pyramidal ».

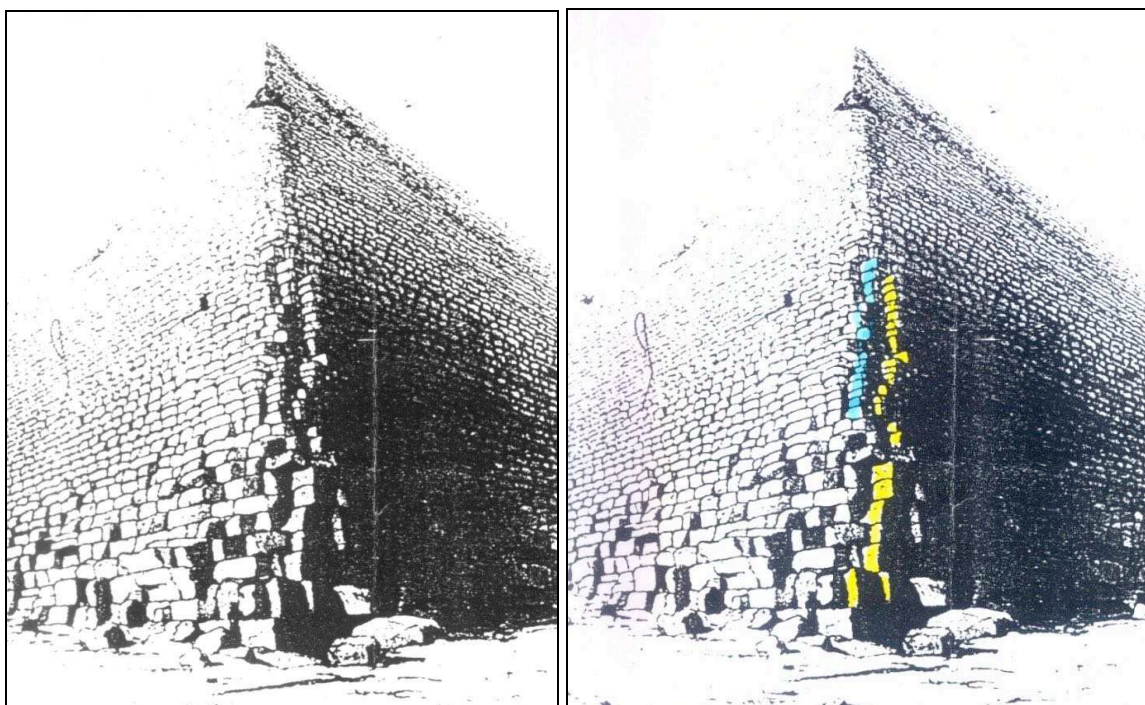


Figure 23. Restitution optique d'une arête de la pyramide de Kheops par E. W. Lane (1827).

Enfin, le hasard d'une prise de vue plongeante d'une des arêtes de la Grande pyramide, tirée du film documentaire de la mission allemande Upuaut, de recherche des conduits de ventilation de la pyramide de Kheops, permet de voir la disposition des blocs en « boutisse » sur les deux faces considérées, le bloc d'angle étant absent, à chaque niveau d'assises. Là encore, la comparaison avec le « modèle » est positive.

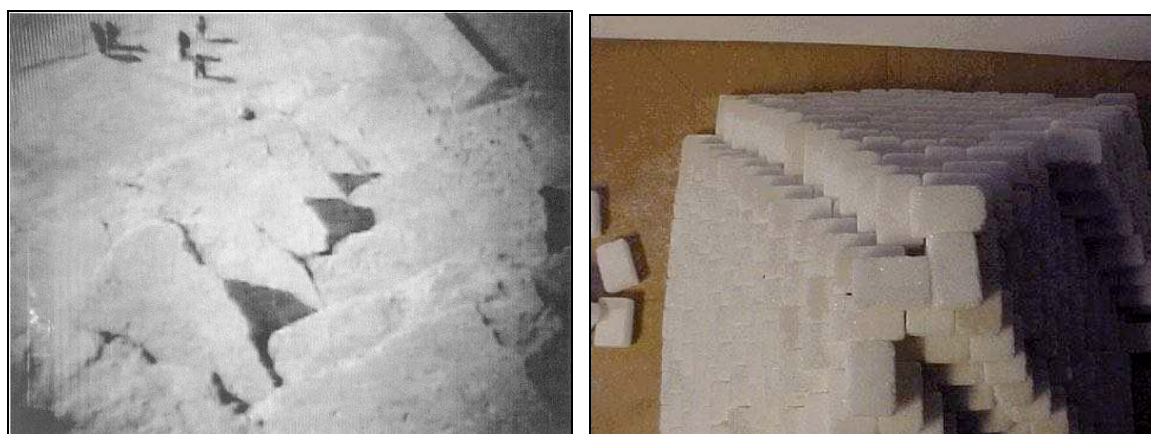


Figure 24. Arête S-O de Kheops en vue plongeante à gauche, à comparer au modèle prédictif à droite.

13.4.4. Les enveloppes successives de la pyramide de Khephren

L'intérêt que comporte, pour nous, l'érosion de la pyramide de Khephren, est qu'elle nous montre ainsi, dans sa partie éboulée et sur l'éboulis, plusieurs enveloppes successives

qu'impose « l'accroissement pyramidal ».

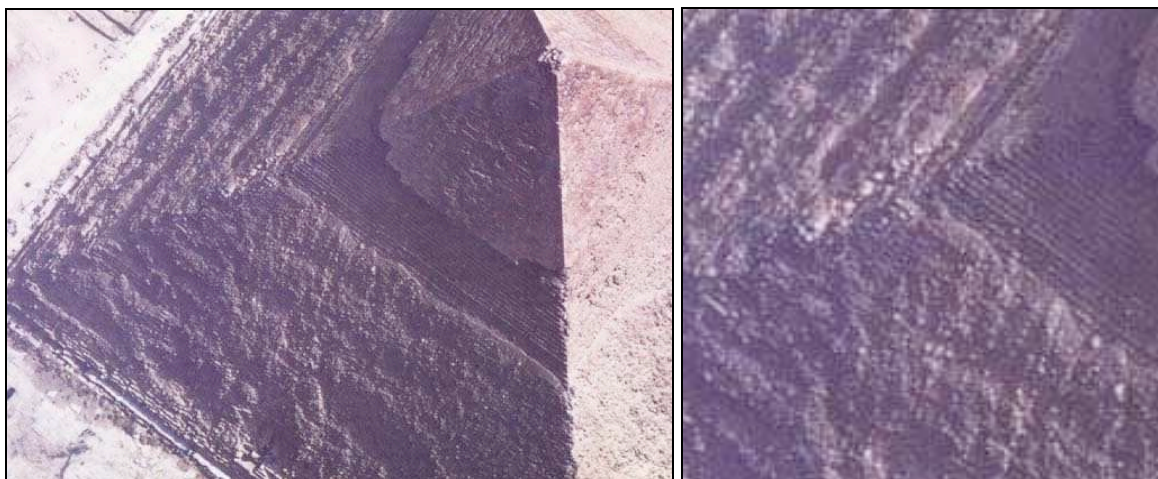


Figure 25. Les enveloppes successives sont bien visibles sur la pyramide de Khephren (photo Kazuyoshi Nomachi)

Cette prise de vue aérienne de la pyramide de Khephren (en lumière rasante sur les faces Est et Nord) permet de mettre en évidence les enveloppes successives dégradées par l'érosion. On aperçoit même, la tranche de la 6^{ème} enveloppe.



Figure 26. Détail d'une enveloppe de la pyramide de Khephren

13.4.5. Le revêtement final des trois pyramides

Les trois grandes pyramides de Gizeh comportaient chacune un revêtement final, composé d'une pierre de provenance, de qualité et de nature différentes, mais cependant mis en oeuvre selon le même procédé « d'accroissement pyramidal », à l'aide de la « machine » dont parle Hérodote. Ces blocs, une fois en place, seront ravalés « en commençant par le sommet et jusqu'à la base de l'édifice » comme le décrit Hérodote.

Il ne s'agit donc pas d'un placage mais bien d'une couche enveloppe comme les autres, sauf

que la pierre est différente, calcaire blanc de Tourah pour Kheops, granite d'Assouan pour les premières assises et calcaire local pour Khephren, granite d'Ethiopie pour Mykérinos.

L'étude des arêtes et du sommet de la couche de revêtement de la pyramide de Khephren, toujours en place, formant glacis, révèle une disposition « croisée » des blocs d'angle, alors qu'ils semblent disposés en « boutisse » sur les couches-enveloppes inférieures que nous montre la partie érodée. S'agit-il là d'une disposition particulière au revêtement final de Khephren, pour renforcer la tenue dans le temps (ce qui est en partie le cas), ou cette disposition observée, contraire au cas général et donc au « modèle », remet-elle en cause celui-ci ? Pour l'heure, nos moyens d'investigation ne nous ont pas permis d'élucider ce problème.



Figure 27. Le revêtement visible au sommet de la pyramide de Khephren poserait-il problème ?

« Lui aussi laissa une pyramide, beaucoup plus petite que celle de son père, de trois plèthres moins vingt pieds de côté, bâtie jusqu'à mi-hauteur en pierre d'Ethiopie » nous dit Hérodote (L'Enquête, Livre II, 129) à propos de la pyramide de Mykérinos. A-t-elle été achevée dans la précipitation comme le suggère ce récit : « Après la mort de sa fille, un second malheur atteignit le roi ; un oracle qui lui vint de Bouto lui annonça qu'il n'avait plus que six ans à vivre et mourrait la septième année (...). Désireux de convaincre l'oracle de mensonge, il s'était arrangé cette existence pour y trouver douze ans de vie au lieu de six, en faisant de ses nuits autant de jour » ? Le chantier fut-il alors stoppé de façon intempestive sans être jamais véritablement terminé ? Ceci expliquerait que le travail de « ravalement » du revêtement de granite n'ait pas été parachevé et que l'on ait laissé, à l'angle nord-est, les blocs non utilisés, sur place, dans la carrière.



Figure 28. Ravèlement non terminé du revêtement final en granite de la pyramide de Mykérinos

Concernant la pyramide de Khéops, peu d'indices ne subsistent de l'existence d'un revêtement final, que l'on dit avoir été fait de calcaire blanc, qui proviendrait des carrières de Tourah, situées à une dizaine de kilomètres, sur la rive droite du Nil en amont, falaise en bordure de la côte arabique. Quelques blocs de calcaire blanc fin sont demeurés en place au pied des faces ouest et nord, d'une hauteur d'environ 1,50 m, dont le plus imposant est estimé à 15 tonnes.

D'après ce que l'on dit, les blocs de calcaire du revêtement de Kheops auraient servi de carrière à la construction de la ville du Caire. Faut-il, là encore, mettre en doute cette rumeur ?

13.5. Complément géologique

Il nous paraît utile de présenter ici des compléments relatifs à la géologie et en particulier au contexte géologique dans lequel se situent les pyramides égyptiennes et en particulier celles des plateaux de Gizeh et de Saqqarah. Cela éclairera certains points développés précédemment.

13.5.1. Contexte géologique général

« Le socle ancien cristallin s'est formé dès l'antécambrien lorsque l'Afrique faisait encore partie du super continent Gondwana. Les roches furent plissées, métamorphosées par des influences remontant des tréfonds, puis arasées à l'ère primaire. Sur cette surface allait se créer un immense bassin sédimentaire. Au début du secondaire, des avancées marines déposeront le grès nubien qui se présente aujourd'hui en larges affleurements à l'Est d'Assouan et va s'avérer si précieux pour l'architecture monumentale.

L'étape suivante fut la formation d'un golfe ouvert sur le nord et s'enfonçant jusqu'au sud du

coude de Kenah, golfe dans lequel s'édifieront d'épaisses couches de calcaire Nummulitique tendre à grain fin.

Durant l'ère tertiaire, un gigantesque fossé d'effondrement éventra la plaque africaine et l'Afrique se sépara de l'Arabie sous l'effet des contraintes latérales et verticales soulevant et fracturant le vieux socle primaire, mettant ainsi à nu des formations minérales : Quartz aurifère et cuivre de Nubie et du Sinaï, améthyste, cornaline, jaspe de Nubie, granite rose d'Assouan, schiste du Wadi Hammamat; albâtre d'Hatnoub; basalte, diorite, serpentine, porphyre, stéatite et une profusion de malachite, turquoises et émeraudes...

Des hauteurs du désert arabe, les eaux de l'ancêtre du Nil dévalèrent en direction du N.N.O vers le bassin sédimentaire et, en se heurtant aux barres gréseuses de la région de Kom Ombo (djebel Silsileh) furent déviées vers l'ouest et la Méditerranée. Au pliocène, le verrou rocheux finit par céder laissant le fleuve établir le cours que nous lui connaissons. Il semble que se soit très tardivement, au quaternaire, que les grands lacs africains et le château d'eau éthiopien se raccordèrent au cours moyen et inférieur; cet épisode sera d'une importance capitale dans la vie de l'homme égyptien. »

Au tertiaire l'histoire géologique de la région du Caire est marquée par une sédimentation de moins en moins carbonatée du Paléocène au Pliocène inférieur et par la distension de la fin de l'Oligocène qui marque l'ouverture de la Mer Rouge et l'effondrement nord-sud de la vallée du Nil.

Sur le plan sédimentaire, on retiendra qu'à l'Eocène Moyen se développe une plate-forme carbonatée dont le faciès est appelé « formation Mokkatam », tandis qu'à l'Eocène Supérieur la sédimentation qui devient de moins en moins carbonatée, est connue sous le nom de « formation Maadi »

D'après l'Encyclopedia Universalis, au chapitre « Afrique-géologie », on peut noter, concernant la transition entre l'Éocène moyen et l'Éocène supérieur les éléments suivants : « *Au Tertiaire, en Egypte, la mer se maintient après le Maastrichtien et tend même à dépasser ses limites. La transgression avance jusqu'à l'Yprésien, où elle est maximale. Au début du Paléocène, au sud, la sédimentation est phosphatée, le reste de la série est à Nummulites. Dès l'Éocène moyen, la mer se retire vers le nord et se maintient encore dans la région du Caire. C'est dans la masse de ce calcaire qu'est sculpté le Sphinx et que furent taillées les pierres des pyramides de Gizeh. Puis l'on passe progressivement aux formations fluvi-marines du Fayoum, dont la base date de l'Éocène supérieur. Quant à la partie supérieure, elle contient une abondante faune de Vertébrés continentaux de l'Oligocène. Cependant, l'Oligocène inférieur marin à Lépidocyclines est connu au Caire et dans le désert de Libye* ». Cette description des mouvements de la mer – régressions / transgressions – au cours du Paléogène, nous intéresse particulièrement, du fait de la formation, à cette époque et dans ces conditions, de paléosols et sols fossiles, qui se retrouvent sous les formations tertiaires supérieures.

Sur le plan structural, l'histoire tectonique est marquée par 3 phases successives connues sous les noms de :

- « Syrian arc system » qui plisse les terrains de l'Anté-Eocène
- « Vela coensis event » qui met les couches de l'Oligocène en discordance sur les terrains sous-jacents
- la fin de l'Oligocène est caractérisée par la naissance des zones d'effondrement

(vallée du Nil) liées à l'ouverture de la Mer Rouge.

Ces 3 phases et l'érosion plio-quaternaire suivante ont donné le visage actuel de la géographie de la région du Caire et en particulier de la Chaîne Libyque, sur la rive occidentale du Nil, sur laquelle et de laquelle sont construites les pyramides.

Tandis qu'au Nord, l'érosion a fini par enlever l'essentiel du Maadi pour laisser affleurer le Mokkatam sur le pli anticlinal formant le Plateau de Gizeh, plus au Sud sur le Plateau de Saqqarah, le Maadi reste visible sous forme d'escarpements témoins.

13.5.2. La chaîne Libyque et la chaîne Arabique

La chaîne Libyque et la chaîne Arabique forment les deux chaînes collinaires qui bordent la vallée du Nil, respectivement à l'Ouest (le plateau des pyramides) du côté de la Libye et à l'Est entre le Nil et la Mer Rouge du côté de l'Arabie. Le fossé d'effondrement (ou graben) a alors été comblé, petit à petit, par les alluvions du Nil pour se prolonger aujourd'hui par le delta.

La succession des affleurements de roches qui constituent les différents matériaux ayant servi à l'édification des différentes pyramides, empruntés aux sites d'implantation, livre, à l'examen de la Carte géologique, des indications primordiales :

- le plateau de Gizeh est constitué d'un affleurement de roches spécifiques « formation Mokkatam », recouvert ailleurs, qui interdit une quelconque zone d'emprunt à moyenne ou longue distance
- le plateau de Saqqarah et d'Abousir offre, vers l'ouest, un affleurement particulier en escarpement « formation Maadi » ; la topographie structurée par l'érosion fluviale des wadi laissera des « hauts lieux » où se retrouvent toutes les pyramides à degrés. Ces sites d'implantation pourraient correspondre à des affleurements partiels, en lentille, de « formation Maadi » qui n'ont pas été cartés sur la Carte géologique, à cette échelle.

Ce sujet fait l'objet d'un débat et devra faire l'objet d'une vérification géologique précise.

13.5.3. Le plateau de Gizeh

Comme nous l'avons vu, la carte géologique du Caire et de ses environs, indique la nature générale du plateau de Gizeh (TemMk): Formation Mokkatam de l'Eocène Moyen (épaisseur 120 m) dans son environnement. On remarquera que c'est le seul affleurement de cette nature (hormis la vieille ville du Caire, de l'autre coté de la vallée du Nil, appartenant au même pli (graben)), partout ailleurs recouvert par des formations postérieures. Elle indique aussi sa structure tectonique par les failles longitudinale et transversale de bordure : présence d'un pli anticlinal d'axe orienté NE-SO, avec l'indication de l'implantation des 3 grandes pyramides.

Sur ces indications générales, ce type de calcaire (Lutétien) stratifié ayant subi une telle

déformation tectonique, l'hypothèse d'un système de fracturation - d'après la théorie de Ruhland - a été projetée :

- alignement des 3 pyramides au sommet du pli parallèlement à l'axe indiqué par le réseau primaire des diaclases principales (et de bordure)
- implantation diagonale en fonction du réseau secondaire des diaclases fines (diagonales) qui imposerait l'orientation de l'exploitation des carrières « alentour »

Recherches bibliographiques complémentaires :

D'après les travaux de Jean Cuvillier (1930), la stratigraphie du plateau de Gizeh se compose, pour la partie qui nous intéresse particulièrement, de la superposition des couches suivantes de l'Eocène Moyen, de bas en haut :

Mokkatam Formation - Inférieur = Lutétien :

- | | |
|---|------|
| - (a) Calcaire détritique jaune (pointes d'oursin) | 4 m |
| - (b) Calcaire plus tendre (moules, huîtres, petites nummulites) | 5 m |
| - (c) Calcaire plus blanc | 6 m |
| - (d) Calcaire pétri de petites nummulites | 5 m |
| - (e) Calcaire extrême abondance de <i>N.gizehensis</i> | 5 m |
| - (f) Calcaire à <i>N. gizehensis et curvispira</i> | 4 m |
| - (g) Calcaire blanc exploité (Baustein = building stone = pierre à bâtir)
à <i>N. curvispira et loevigatus</i> , avec <i>Operculina pyramidum</i> que certains classent en
Observatory Formation | 12 m |

Mokkatam Formation - Moyen = Auversien

- | | |
|---|-----|
| - (a) Calcaire dur à petites Nummulites et Gastéropodes | 6 m |
| - (b) Calcaire blanc à Bryozoaires | 6 m |

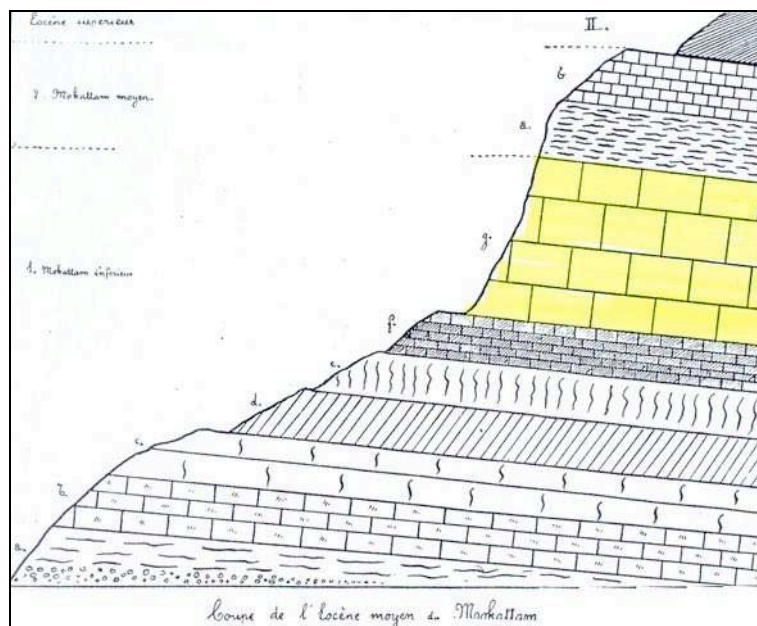


Figure 29. Coupe géologique de l'Eocène Moyen du Mokattam

A la suite de J. Cuvillier, d'autres études géologiques (Hume, 1925, El-Nakkedy, 1958, Saïd, 1962 et 1975) sont venues interférer, compléter et préciser son travail, que ce soit au niveau de la tectonique, de la stratigraphie et géologie, du système de fracturation. Néanmoins, selon la bibliographie, le pli anticlinal se révèle plus complexe que le schéma théorique proposé :

Jean Cuvillier y voit un demi -dôme (*J. Cuvillier , 1930*), Reisner y voit un dôme (*Reisner, 1942*), Omara (*Omara, 1952*) y voit une légère rotation de la crête anticlinale vers le Sud-Ouest ainsi qu'un jeu de failles antithétiques –antithetic fault (H. Cloos, 1936), Amin Stougo parle d'un bombement brachy-anticlinal du plateau de Gizeh (*A. Strougo, 1976 e, 1985*), Moustafa, quant à lui, décrit un monoclinale formé par compression ayant subi un cisaillement latéral-droit (*Moustafa et al., 1985*), et Mohamed Adel Yehia y décèle d'une part un phénomène stratigraphique : plusieurs surfaces d'érosion au cours de l'Eocène moyen et entre l'Eocène moyen et le supérieur, et d'autre part un phénomène géo-mécanique entre E. moyen et E. supérieur : un jeu de horst et graben associés au nord-est (M. A. Yehia,).

Ces études différentes sont en partie contradictoires.

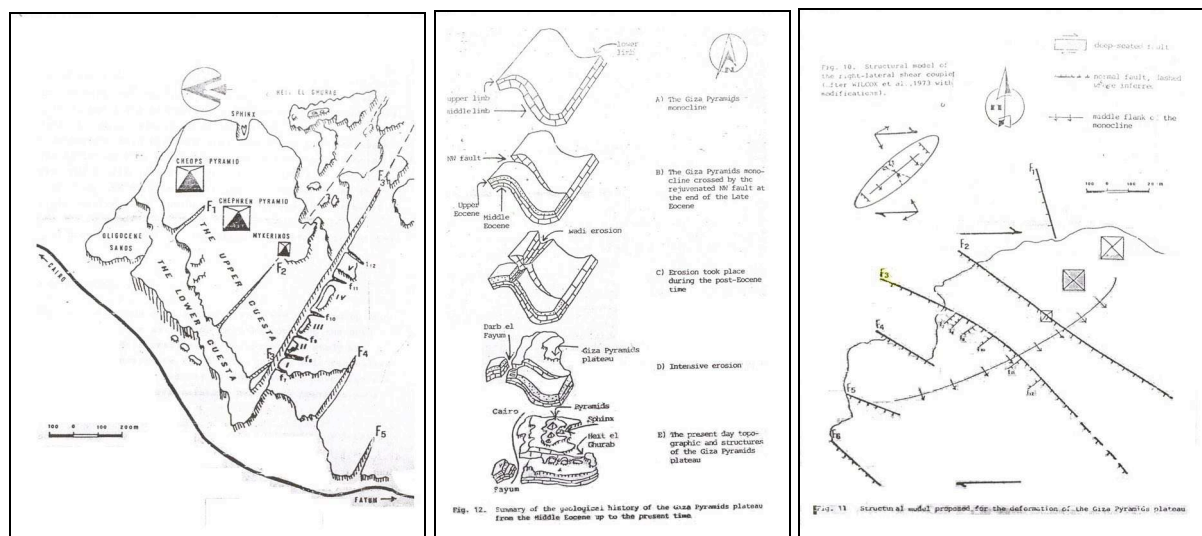


Figure 30. Géologie structurale : failles et diaclases principales et déformations tectoniques

Néanmoins, l'alignement des trois pyramides est indiqué sur le sommet du pli orienté NE/SO.

Le schéma fourni par M. A. Omara indiquant le système de fracturation naturelle du plateau de Gizeh, fait apparaître le réseau secondaire des diaclases diagonales.

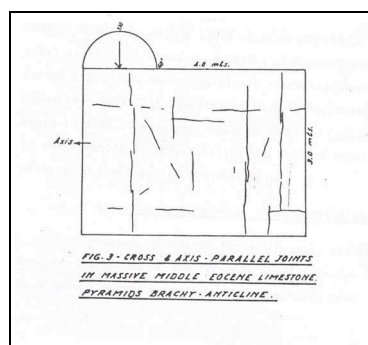


Figure 31. Schéma du système de fracturation du plateau de Gizeh (M.A.Omara, 1952)

Etudes géologiques complémentaires :

L'étude géologique : structurale, stratigraphique et morphologique réalisée conjointement avec l'ENSG de Nancy a permis de relever les deux systèmes de diaclases principales :

- Un premier système de diaclases parallèles et normales (ouvertes) dues au plissement, en N 45° et N 135°, indiquant bien un pli anticlinal d'axe NE-SO en N 45°,
- Un second système de diaclases principales dues à un cisaillement latéral droit en N 115°
- Une faille, due au jeu de horst et graben, indiqué été repérée, orientée N 115, correspondant à l'escarpement de la plate-forme de Khéops, sur la route d'accès depuis le Sphinx.
- Les différents affleurements ont été positionnés sur la topographie actuelle

Elle permet de positionner le sommet apparent (suite à l'érosion : combe et cuesta) du pli à la cote 85 m, les pyramides étant implantées à trois niveaux de cote différents, parallèlement et proche de ce sommet : Khéops à 60m, Khephren à 70m et Mykérinos à 75m.

De ce fait, les trois grandes pyramides, dont les carrières respectives « alentour » empruntent dans des bancs différents, sont constituées de roches différentes en faciès et en qualité :

- Khephren (cote 70) emprunte l'ensemble du banc (g) de calcaire blanc exploité, hauteur 12m (Baustein = building stone = pierre à bâtir) à *Nummulites Curvispira*, avec *Operculina pyramidum* (que certains classent en Observatory Formation, sur une surface de 30 ha, depuis le front de taille - falaise au NO de la pyramide jusqu'au Sphinx.

Pour cette raison, la structure de la pyramide de Khephren sera très homogène et régulière, et son érosion importante (faible dureté de (g) la pierre à bâtir), entamant graduellement plusieurs couches-enveloppes successives (5-6), montrant et démontrant ainsi la structure interne conforme au modèle du « système constructif » proposé.

- Khéops (cote 60) empruntera au départ le même banc (g) mais aussi, par la suite, les trois bancs inférieurs : (f) calcaire à *Nummulites Gizehensis et Curvispira*, (e) calcaire extrême abondance de *N. Gizehensis*, (d) calcaire pétri de petites nummulites, (c) calcaire plus blanc, soit au total à l'angle NO une épaisseur de 25m.

Ceci permet de vérifier l'hypothèse émise, selon laquelle la chambre du Roi est posée sur le plateau pré-existant, avant emprunt périphérique. La zone d'emprunt de Khéops d'environ 30 ha recouvre en fait le champ des mastabas (qui ont été réalisés postérieurement sur le carreau du délaissé de carrière en coteau) à l'est et surtout à l'ouest de la pyramides.

De ce fait, la pyramide de Khéops est composite, les strates de faciès différents n'étant pas de la même qualité (dureté et densité). Les derniers bancs exploités (d) et (e) étant plus durs, la pyramide de Khéops sera plus résistante à l'érosion (que Khephren), et donc aujourd'hui en meilleur état.

Cette vérification explicite le relevé des variations de densité fait par EDF, en 1986.

- Mykérinos (cote 75) se situe, comme Khephren dans le banc (g) de pierre à bâtir, les reliquats de carrière sont visibles au pied de la pyramide, sous le sable, particulièrement à l'angle NO (qu'il faudrait dégager).
- Le Sphinx est constitué d'une laisse de carrière montrant une partie de la stratigraphie : la tête en Calcaire dur à petites Nummulites et Gastéropodes (a) de l'Auversien – Mokkatam Formation – Moyen, épaisseur 6 m (d'où sa bonne résistance à l'érosion), les épaules et le dos en (g) pierre à bâtir du Lutétien, épaisseur 10-12 m (d'où sa forte érosion), les pattes-avant et le bas du dos en (f) Calcaire à *N. Gizehensis et Curvispira*, épaisseur 4 m, les pattes arrières en (e) Calcaire extrême abondance de *N. Gizehensis*, épaisseur 5 m. Le banc inférieur (d) Calcaire pétri de petites nummulites, épaisseur 5 m, apparaît au sol et en front de taille, à l'arrière du Sphinx.

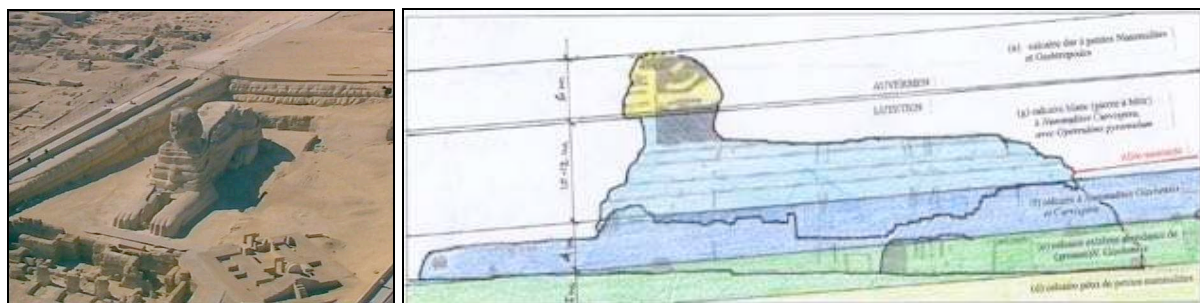


Figure 32. Le Sphinx : « laisse » de carrière qui montre la stratigraphie (partielle) du plateau de Gizeh

- La pente de l'allée montante est légèrement plus forte que le pendage ; il apparaît alors que les temples haut et bas de Khephren sont constitués de roche du banc (g) pierre à bâtir en place.

Réseau secondaire des diaclases diagonales

D'une façon générale, ce réseau secondaire – le plus fin - n'est pas toujours évident à repérer, surtout dans les calcaire tendres, ce qui est le cas des bancs de (g) pierre à bâtir. Souvent il n'apparaît que si le banc n'est plus dans le champ des contraintes de compression provoquant le plissement.

Il ne faut donc pas le chercher au sol de carrière, mais sur les front de taille. Les carriers expliquent, qu'en carrière souterraine, dès lors qu'un massif a été dégagé sur trois cotés : latéralement et en ciel, peu de temps après la pierre se détend et ces fracturations fines apparaissent.

Une coupe stratigraphique partielle est visible sur la falaise – mastaba, face à la pyramide de la reine Khent-Kawes, au Sud du plateau, elle laisse apparaître au sommet les strates de l'Auversien (idem la tête du Sphinx) et en dessous les différents bancs du Lutétien (g) pierre à bâtir. Ces bancs, de hauteurs variables, sont fracturés verticalement, de façon proportionnelle à leur épaisseur respectives. Il s'agit du réseau secondaire des diaclases diagonales recherché.

Les bancs du sommet, de faible épaisseur (environ 0,70 m), sont repérables , ils montrent le réseau de fracturation diagonal d'ordre métrique. Des fractures plus importantes du même réseau, orientées NS, préfigure le rythme de découpe des champs de mastabas. Ce type de fractures NS sont visibles sur le corps du Sphinx, transversalement.



Figure 33. Stratigraphie partielle proche de la pyramide de Khent-Kawes montrant les hauteurs différentes des strates et le réseau secondaire de fracturation des diaclases diagonales dont le rythme du réseau est proportionnel à l'épaisseur des strates.

En effet, la géométrie générale du plateau de Gizeh – que l'on appréhende aujourd'hui comme le géomètre et/ou l'architecte, en vue « par dessus » à l'image d'un plan d'organisation et d'implantation des masses des pyramides, champs des mastabas, Sphinx, allées et temples hauts et bas – a incité les différents observateurs depuis l'Antiquité gréco-romaine à considérer le site comme un projet d'ensemble, sorte de plan directeur, même s'il s'est développé par phases successives, somme toute assez proches. Cette projection nous semble erronée qui implique un concept général préalable, un mode de représentation graphique et un système de report d'implantation au sol, car anachronique pour l'Ancien Empire.

Le système de fracturation naturelle du plateau, mis en évidence dans cette étude, et sans aucun doute visible au sol (sur les strates affleurantes) et repéré par l'homme des Métiers de la pierre et de l'Art de bâtir, par obligation, imposera - et nous permet dès lors de comprendre les raisons – une telle orientation - géométrie - disposition totale qui en est la résultante.

Une étude plus complète de ce réseau des diaclases diagonales est nécessaire, par des observations complémentaires en surface des mastabas et des méthodes géomécaniques de détection appropriées.

Paléo – morpho – géologie du plateau de Gizeh

De ces différents éléments géologiques : structure, tectonique, stratigraphie, topographie et affleurements, il est possible de tenter une interprétation de l'état préexistant du plateau avant l'emprunt en carrière « alentour » - construction des pyramides. Le schéma des affleurements proposé par J. Kérisel s'intègre assez bien dans notre étude – comme représentation du terrain d'origine - bien qu'il soit faux pour l'état actuel. La différence entre les paléo-affleurements et les affleurements actuels nous dictera les emplacements des zones respectives d'emprunt des matériaux.

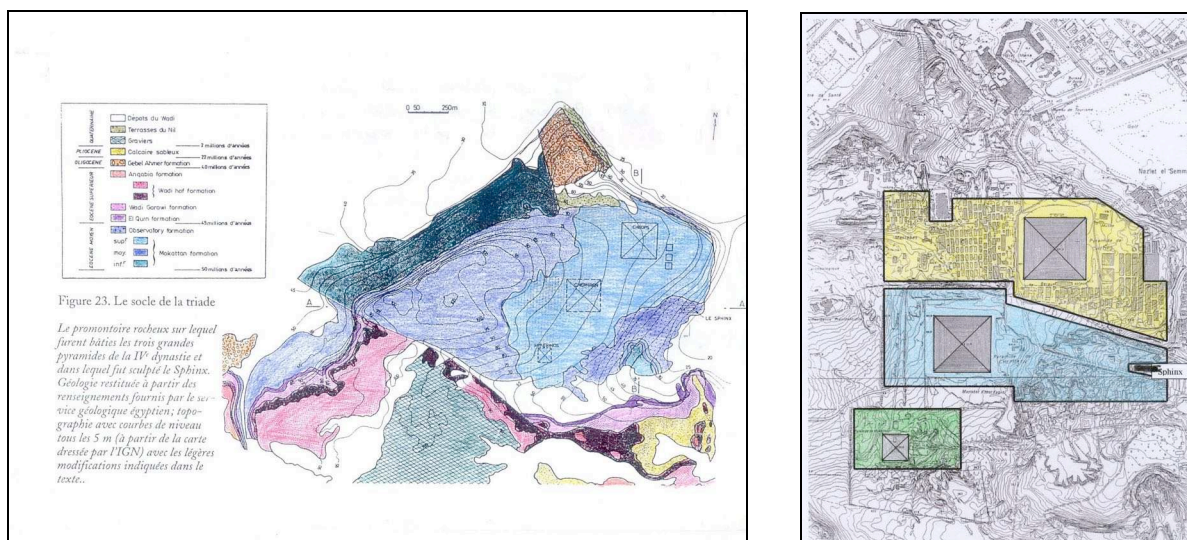


Figure 34. Plateau de Gizeh : paléo-affleurements (d'après J. Kérisel) et zones respectives d'emprunt des matériaux de construction « alentour » (d'après l'auteur)

En reportant sur la photographie aérienne du plateau, il est possible de mettre en évidence la ligne de cote 85 m, parallèle à l'axe sub-horizontale du pli (orienté NE – SO) : on voit ainsi apparaître la zone d'emprunt de Khéops sur le champ des Mastaba et la hauteur maximum d'emprunt à l'angle NO, (soit $85 - 60 = 25$ m). La chambre de la reine, située à la hauteur de 21,19 m (soit à la cote 81,19 m) doit donc avoir été construite sur le plateau d'origine. Ce qui serait facile de vérifier en réouvrant le trou aujourd'hui rebouché, et qui, d'ores et déjà explique pourquoi la première partie du couloir horizontal ne comporte pas de joints d'appareil, puisqu'il est taillé dans la roche-mère.

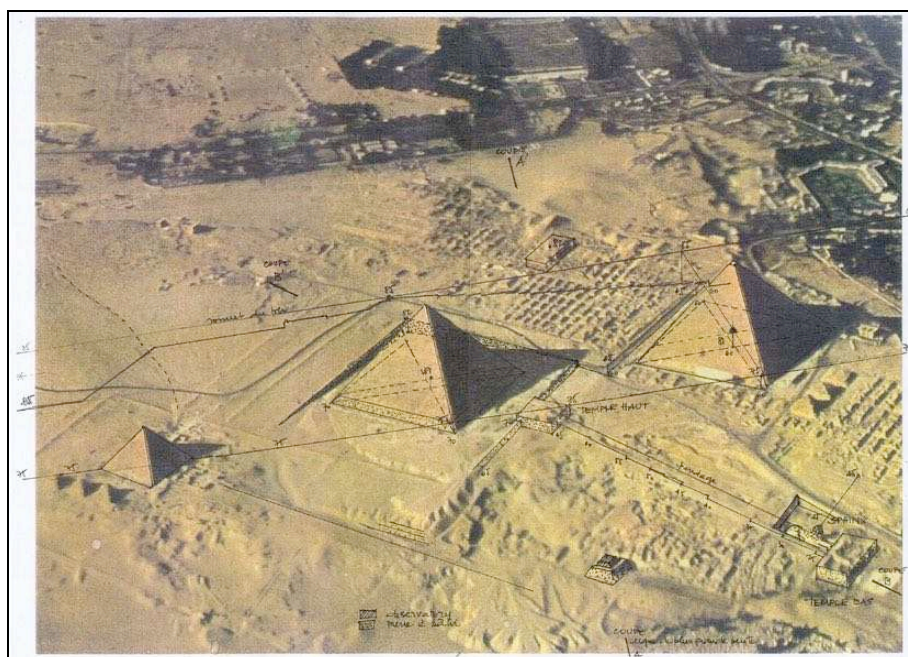


Figure 35. Schéma proposé du pli anticlinal du plateau de Gizeh : l'axe du pli NE-SO est orienté N 45°, le pendage est normal, la cote 85 m du terrain, à l'angle NO de Khephren, recolle au terrain naturel avant extraction

Il est alors possible de proposer un schéma complet de restitution de la paléo-morpho-géologique¹ du plateau, tel qu'il était avant la construction des 3 pyramides qui intègre l'état actuel des affleurements, en parfaite cohérence géologique.

Figure 36. Modélisation de restitution 3D (logiciel GOCad) de la paléo – morpho – géologie du plateau de Gizeh , par D. Jousselin

Modes d'extraction

Suite à l'expertise des professionnels des Métiers de la pierre², une nouvelle compréhension du mode d'extraction est dès lors possible :

- a) Les strates sont minces, telles qu'elles apparaissent au sommet du Lutétien (g) pierre à bâtir (fig :), et l'extraction peut se faire directement – par démisage - en fonction du réseau des diaclases diagonales, d'ordre du mètre. C'est le cas des traces laissées au pied de Khéops.
- b) Les strates sont trop épaisses, le réseau des diaclases diagonales est alors trop large, et il faudra avoir recours au quadrillage de tranchées déterminant des massifs, puis à la découpe et dédoublement – par démisage - de ces strates en blocs à débarder. C'est le cas du quadrillage au pied de Khephren, du fait de la grande épaisseur de la strate (2,5 m). Il doit en être de même des carrières ensablées au pied de Mykérinos.
- c) Dans le cas des assises découpées dans la roche-mère, au pied de Khephren, le mode d'extraction : tranchées et boîtes de démisage, laisseront les stigmates de tranchées (faisant apparaître le module des blocs extraits) et/ou les demi-boîtes qui ont été observés et décrits précédemment.

¹ Modélisation établie par David Jousselin, maître de conférences à l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie des Nancy, Centre de Recherche Pétrographique et Géochimique(ENSG-CRPG)

² Expertise faite par Jean-Paul Foucher, Compagnon Carrier – tailleur de pierre, de l'Institut Supérieur de Recherche et de formation aux Métiers de la Pierre de Rodez (ISRFMP) de l'Association Ouvrière des Compagnons du Devoir du Tour de France (AOCDTF)

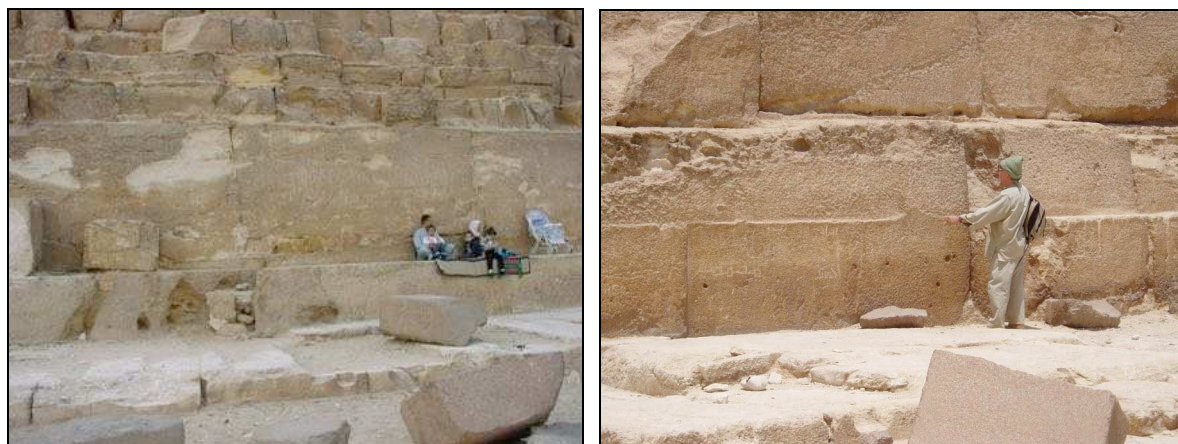


Figure 37. Strate épaisse au pied de Khephren montrant le réseau de fracturation diagonale moins dense et les stigmates de dédoublement et de découpe (faisant apparaître le module des blocs extraits)

A l'image de ce détail de la fresque du plafond de la Caisse d'Epargne de Commercy (Meuse) (début du XX siècle) qui nous montre l'extraction par démisage à l'aide d'une « Pince à talon » en fer, après avoir détaché le bloc à l'aide de coins métalliques, on peut tenter une illustration des différents cas de figure de l'extraction des blocs dans les carrières « alentour » des pyramides de Gizeh.



Figure 38. Scène de démisage à l'aide d'une pince à talon en fer au XXe siècle

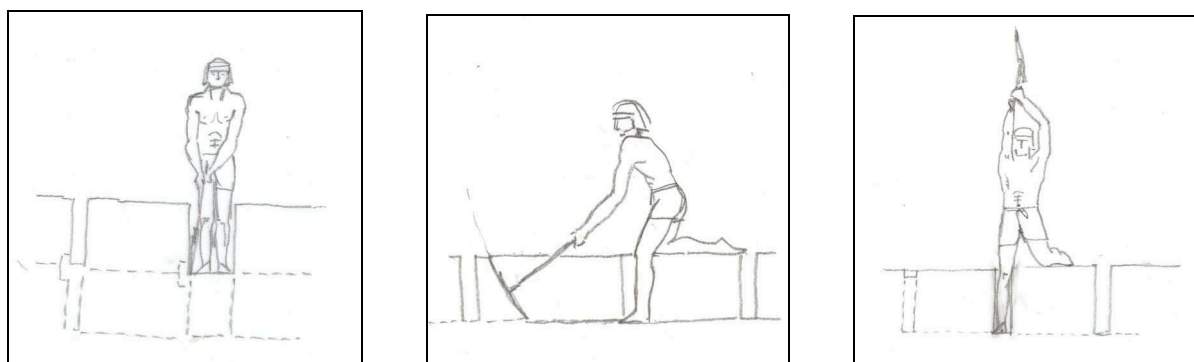


Figure 39. Croquis d'extraction des massifs par quadrillage de tranchées et découpe des blocs à débarder

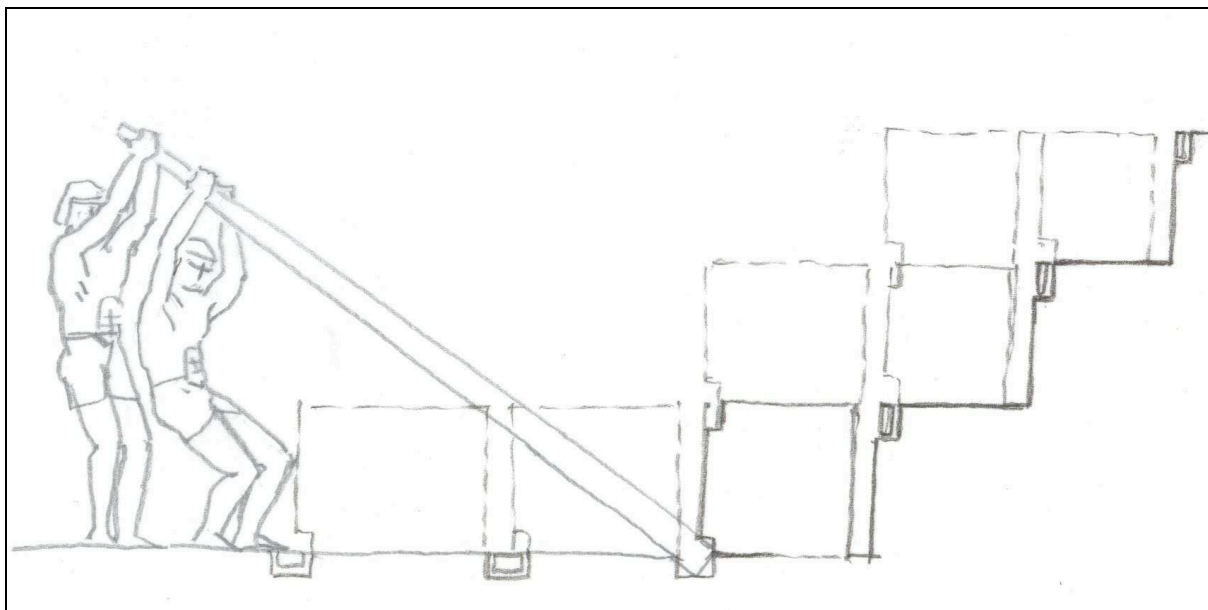


Figure 40. Croquis du « démisage » des blocs à l'aide d'un pieu faisant levier, engagé dans une « boîte » d'extraction laissant des stigmates caractéristiques au sol et sur le rebord des assises entaillées de Khephren

Des outils « de fer » ?

D'une façon plus précise encore, des stigmates d'amorce de tranchées de découpe ont été mis en évidence, au sol de la carrière, qui s'apparentent aux traces de l'outil traditionnel d'extraction appelé « escoude » ou de pic rustique.



Figure 41. Stigmates d'amorces de tranchées identiques aux traces laissées par un pic ou une « escoude ». A gauche, on reconnaît une trace de coin et $\frac{1}{4}$ de boîte de démisage.

Il serait désormais intéressant de chercher à déterminer avec exactitude, de façon pragmatique c'est-à-dire par des essais en vraie grandeur, la forme, la matière (cuivre, bronze ou fer) et la façon de se servir de ces outils. C'est la recherche a été lancée avec les Compagnons du Devoir des Métiers de la pierre : carriers, tailleurs de pierre avec les mécaniciens et métallurgistes.

Rappelons ici que la question des « outils de fer », posée par le texte d'Hérodote, est toujours sujet à polémique entre égyptologues (Mauny 1952 ; Leclant 1956) et certains pré-historiens

extérieurs (Lhote 1952 ; Diop 1973, 1976 ; Mohen 1990, 2001). Citons un passage du livre « Aux origines de la métallurgie du fer en Afrique » Une ancienneté méconnue. Afrique de l'Ouest et Afrique centrale, Ed. UNESCO 2002 :

(p. 190)« Remarquons que les dates obtenues à Égaro permettent de considérer comme possible l'origine ouest-africaine des quelques échantillons de minerai de fer trouvés en Égypte et datant de l'Ancien Empire (2565-2181 av. J.-c.)(attesté par J-P. Mohen), d'autant qu'en Mésopotamie et en Anatolie, les dates sont comprises entre 2450 et 2100 av. J.-c., sauf à confirmer celle de Samarra. Notons que les vestiges de fer sont généralement rouillés. »

Il serait pour le moins « cocasse » mais cependant lourd de conséquence – d'autant plus qu'un texte du Fayoum récemment déchiffré, et datant de 3500 avant J.-C., atteste que les Égyptiens savaient alors extraire le fer du minerai. - que J-P. Mohen, Cheik Anta Diop, Henri Lhote finissent par se faire entendre, démontrant ainsi qu'Hérodote avait raison, là aussi.

Si, comme ceux-ci le pensent, le fer – venant du Niger oriental, dans le massif de l'Aïr el Azbine, près d'Agadès : Egara –2900/2300 (G. Quéchon & al. 1992)- était utilisé en Égypte, à l'époque de la construction des pyramides, dès lors on comprendrait mieux cet engouement pour les « tas » de pierre à partir d'une extraction facilitée par des outils de ce métal, la puissance économique et sociale acquise par les porteurs de cette avancée technologique et enfin la suprématie du dieu Soleil auquel les Libyens (au sens ancien) ont sacrifié depuis le paléolithique. C'est désormais, peut-être, de ce côté-là qu'il faut aller chercher les témoignages d'ouvrages tumulaires antérieurs, ainsi resitués dans la perspective de la désertification de l'Afrique qui fit émigrer les animaux, le bétail et les hommes vers les points d'eau résiduels pérennes, comme la vallée du Nil, forçant ainsi les hommes à s'organiser pour en maîtriser les crues - étiages par des aménagements hydrauliques majeurs qui sont l'élément moteur de la civilisation égyptienne.

13.5.4. Le plateau de Saqqarah

D'après les données bibliographiques dont nous disposons, il semblerait que les formations géologiques correspondant au site de Saqqarah, le long du Nil, au sud du Caire, en face de Helwan, doivent se situer entre les formations El Fashn et Beni Suef du profil Nile, limite du Mokattam et du Maadi, c'est à dire à la transition entre l'Eocène moyen et l'Eocène supérieur.

GROUP	SUB GROUP	Plank. Foramin. Zones	NUMMULITE ZONES	GEBEL MOKATTAM	HELWAN	GIZEH PYRAMIDS PLATEAU	GEBEL ATAQA	NILE	FAYUM	NORTH BAHARIYA	GULF OF SUEZ	
			MAADI	MAADI	MAADI	MAADI	MAADI	MAADI	MAADI	MAADI	MAADI	MAADI
LATE	MAADI	P15-17	N(A)	MAADI	Wadi Hof	25m	/	/	Maadi	Qasr El Sagha	Bir Hajarfiya	
			N(B)		Wadi Garawi	10m			110m	Gehannam	Tanka	
			N(C)		Qurn	13m			86m	50m	68m	
	MOKATTAM	OBSERVATORY	P10-11	N(D)	Glushi	Observatory	Glushi (?)	El Ramiya	El Fashn	Gharaq	Khaboba	
				N(E)	Upper Building Stone	Gebel Hof	Observatory	Suez	Qarara	Midawara		Hamra
				N(F)	Lower Building Stone	27m	Mokattam	90m	170m	80m		43m
				N(G)	Maghagha	60m	Muweilih	30m	Qazzun	Darat		
MINIA							Samaiut	160m	98m			
							Minia	115m	29m			

Table 24.3 Middle and Upper Eocene rock units.
 Planktic Foram. zones: P10= *Turborotalia bullbrookii/Hantkenina aragonensis*; P11-12= *Globigerinatheka subconglobata/Morozovella lehneri*; P13-14= *Truncorotaloides rohri*; P15-17= *Turborotalia cerroazulensis*.
 Nummulites Zones (after Strougo and Boukhary, 1987): N(A)= *N. fabianii*, *N. incrassatus*, *N. striatus*; N(B)= *N. cyrenaicus*, *N. cf vicaryi*, *N. striatus*, *N. aff pulchellus*; N(C)= *N. lyelli*, *N. discorbinus*, *N. cyrenaicus*, *N. beaumonti*, *N. striatus*, *N. aff pulchellus*, *N. bullatus decrouzeae*; N(D)= *N. gizehensis*, *N. discorbinus*, *N. beaumonti*, *N. somaliensis*, *N. bullaus*, *Op. schwageri*; N(E)= *N. gizehensis*, *N. discorbinus*; N(F)= *N. delaharpei*, *N. praediscorbinus*, *N. aff obesus*; N(G)= *N. rollandi*, *N. pomeli*, *N. parischi*, *N. praecursor ornatus*.

Figure 42. Tableau des coupes géologiques relatives à l'Eocène moyen et supérieur, d'après Saïd Rushdi (1990)

Citons Rushdi Saïd (1990) :

(p 463) « Au sud du Caire, le long du Nil, la formation de l'Observatory devient difficile à suivre car la vallée s'ouvre sur la large étendue de Maghagha Beni Suef due à l'érosion facile des roches. Ici, les roches montrent une plus grande variation dans leur composition lithographiques aussi bien dans le temps que dans l'espace. Les sédiments ont, dans leur ensemble, une large composition des débris. Ils s'étendent, de façon discordante, sur les sédiments plus anciens et montrent un certain nombre des faciès différents. Une coupe-type est visible à El Fashn. Ici, le Qarara est recouvert de façon discordante, par une unité très remarquable formée par un calcaire dur à nummulites et à bryozoaires contenant des bandes de cherts et nodules qui forment plusieurs escarpements de la région. Cette unité, clairement reliable avec la formation Giushi, représente la partie inférieure de la formation El Fashn, telle que l'a décrit Bishay (1966). Strougo en 1986 ré-examine la coupe-type de cette formation à Wadi El Sheikh et la compare avec celle de El Fashn et trouve que cette formation doit être décomposée en deux types différents. La base est à mettre en corrélation avec le Giushi. Il est proposé ici de restreindre l'usage de la dénomination El Fashn à la partie la plus basse de cette formation telle que définie par Bishay (1966). »

Le plateau de Saqqarah pourrait correspondre à l'un de ces escarpements. Le cailloutis de silex, repéré en plusieurs endroits à la cote 55, en particulier au sol de la cour du complexe funéraire de Djoser, ainsi que sous les pyramides de Djoser et d'Ounas (voir ci-après), serait-

elle une bande de « cherts et nodules » décrits par Rushdi Saïd. Cette formation est recouverte, de façon discontinue, par la formation Beni Suef du Maadi.



Figure 43. La pyramide de Djoser est fondée sur un banc - cailloutis conglomération de silex

Cette discontinuité observée est le résultat topographique d'une géomorphologie d'érosion fluviale « *érosion facile des roches* », aisément repérable sur l'ensemble du site du plateau et confirmé par le tracé des courbes de niveau et les affleurements actuels du cailloutis conglomératique.

Citons encore Rushdi (1990) parlant des formations de l'Eocène moyen du Maadi Group :

*« ces formations sont particulièrement minces dans la région du Caire, Mokattam et Gizeh. Dans le sud, par contre, le Qurn et Wadi Garawi deviennent épaisses. Dans l'aire d'Helwan, le Qurn succède au sommet de la formation Observatory. Il est composé d'une séquence de 97 m d'épaisseur de marne et de calcaire gypseux en alternance avec des schistes argileux, des argiles sableux et des bancs fossilifères riches en *Ostre a reili*, *Nummulites beaumonti*, *N. striatus* et *N. aff. pulchellus*, qui se raccordent avec la formation Giushi sous-jacente, qui ont les mêmes fossiles. La formation Wadi Garawi est une couche de schistes sableux de 25 m d'épaisseur pauvre en fossiles avec un banc dur richement fossilifère avec *Plicatula polymorpha*, *Nicaiosolopha clotbeyi* et autres. En plusieurs endroits le banc devient phosphatique.*

Au Sud, le long de la Vallée du Nil, le Qurn se développe et devient facilement reconnaissable. Il se situe généralement par dessus les calcaires durs du sous-groupe Observatory sous-jacent. D'autre part, la formation Wadi Garawi devient difficile à séparer du Qurn sous-jacent. A Beni Suef, le Qurn forme le membre supérieur de la formation El Fashn de Bishay. Comme décrite à l'origine (préalablement) ce membre est constitué d'un ensemble de strates qui se distingue de l'ensemble inférieur par sa nature plus tendre – formant de ce fait un second escarpement de retrait – et par le manque ou la rareté des horizons 'chert' courants dans l'ensemble inférieur. Cet ensemble est épais de 86m. Il consiste à la base en marne sableuse légèrement fossilifère et marne calcaire, avec bancs d'argile et de grès au sommet. Les auteurs de la nouvelle Carte Géologique ont élevé cet ensemble au rang de formation, le Beni Suef. Dans la région de Beni Mazar, Omara et al. (1977) ont carté des couches comparables sous l'appellation formation El Marier. Cette

formation est appelée Beni Suef dans la nouvelle Carte Géologique et Qurn dans la carte du Geological Survey du Caire (1983). »

Concernant précisément le Plateau de Saqqarah, la Carte géologique indique que cette zone appartient au « Fayum Facies » :

- le plateau de Saqqarah forme l'affleurement le plus septentrional de la formation Rayan (TemRv), formée d'une succession de calcaires marneux et de marnes blanches intercalaires faiblement fossilifères avec des bancs d'argiles gypseuses.
- d'après Strougo, cette formation, serait à mettre en corrélation avec le Giushi et représenterait la partie inférieure de la formation El Fashn de Gishay. Elle présente « une unité très remarquable formée par un calcaire dur à nummulites et à bryozoaires contenant des bandes de cherts et nodules qui forment plusieurs escarpements de la région ».
- recouverte à l'ouest par les formations postérieures du Maadi de 60 m d'épaisseur (TeuMd), appartenant au Cairo Facies, composées de la superposition des trois sous-ensembles, le Qurn, le Wadi Garawi et le Wadi Hof. Le Qurn qui forme « la partie supérieure du El Fashn de Bishay » « est constitué d'un ensemble de strates qui se distingue de l'ensemble inférieur par sa nature plus tendre – formant de ce fait un second escarpement de retrait – et par le manque ou la rareté des horizons “chert” courants dans l'ensemble inférieur »
- Cet ensemble se compose de :
 - à la base : argiles et marnes
 - au milieu : grès et sables fossilifères
 - au sommet : barre de calcaires sableux brun fossilifères

L'observation, géologique et topographique du Plateau de Saqqarah, à l'examen de la Carte géologique, ainsi que la description du cailloutis sont intéressantes.

Le « plateau » de Saqqarah est situé autour de la cote +55 m et domine à l'Est, d'une trentaine de mètres, la plaine alluviale du Nil. Il s'inscrit une cinquantaine de mètres en contrebas d'un vaste replat situé vers la cote +100 m, replat qui lui-même s'appuie, vers l'Ouest, contre le Gebel El Khashab (point culminant : 216 m). Le plateau de Saqqarah est nettement disséqué par des oueds, notamment vers le NW et le SW, ce qui l'isole quelque peu, vers l'Ouest, du replat (+100) ; les fragments du plateau se présentent comme des buttes témoins.

D'après la carte géologique, le plateau de Saqqarah est constitué par la Formation « Ravine » (Ravine Beds : marnes et calcaires marneux à intercalations argileuses - épaisseur 69 m – Éocène moyen) ; vers l'ouest, la Formation Ravine est recouverte par la Formation Maadi (sables et grès fossilifères, avec des argiles et des marnes à la base et des calcaires sableux fossilifères bruns au sommet - épaisseur 59 m, le double d'après Rushdie Saïd - Éocène Supérieur) ; l'ensemble présente un pendage net mais sans doute très faible (quelques degrés) vers l'ouest. Le plateau +100 est constitué, dans sa moitié est, de Pliocène « supérieur » (sables conglomératiques, graviers et grès continentaux - épaisseur 18 m). Ce Pliocène « supérieur » repose principalement sur la Formation Maadi, mais aussi localement, au sud du plateau de Saqqarah, sur la Formation Ravine, ou, vers l'ouest, sur la Formation Gebel

Qatrani (sables et grès intercalés d'argiles et de marnes, à restes de vertébrés et troncs silicifiés - épaisseur 20 m, beaucoup plus d'après la carte elle-même - Oligocène), formation surmontant la Formation Maadi ; le Pliocène est nettement discordant (selon la carte).

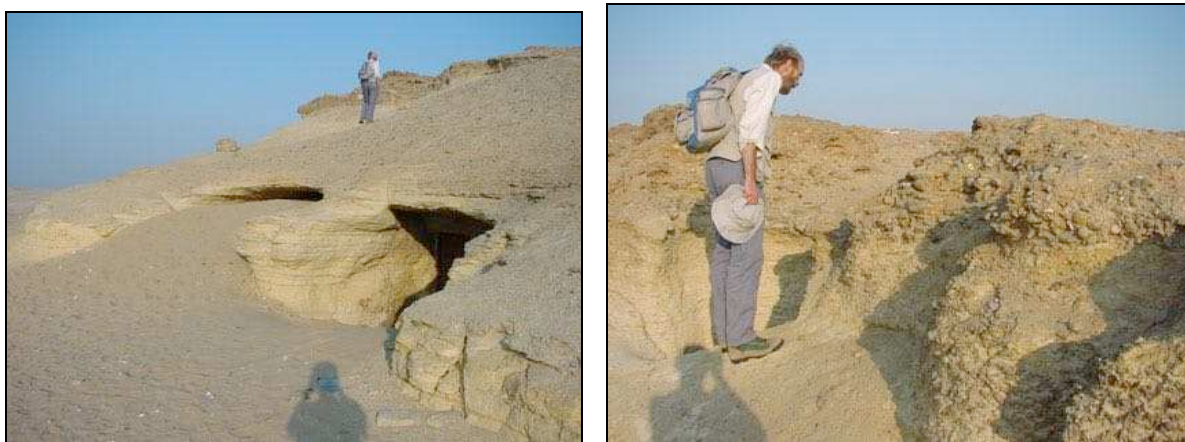


Figure 44. Le cailloutis conglomératique de silex, plus ou moins bien cimenté, forme des escarpements

De nombreux ouvrages sont construits sur le niveau conglomératique. Les trois pyramides à degrés de Djoser, Sekhemkhet et Têti, construites au dessus du NC, sont constituées de calcaire Éocène « supérieur » d'après la thèse de M. Wissa, calcaire qu'il aura bien fallu emprunter quelque part, dès lors que le plateau de Saqqarah est donné, par la carte géologique, pour Éocène moyen. Le niveau conglomératique joue donc le rôle de « dalle de béton maigre », les ouvrages n'ayant pas de fondations.

Dans la problématique de la « méthode constructive », l'interprétation du niveau conglomératique est essentielle.



Figure 45. Détail du cailloutis conglomératique : gros silex (éolithes), petits galets de quartz, sable, et ciment (de quelle nature?)

Deux hypothèses interprétatives sont à envisager :

1) le niveau conglomératique appartient à la série éocène, auquel cas il pu être surmonté par

des couches de « pierre à bâtir » dont l'exploitation (quasi totale) a permis la construction des pyramides de Saqqarah posées sur lui ; dans ce cas, le dégagement de la surface armée par le niveau conglomératique est, en partie (au moins), anthropique (Hypothèse « Constructeur »)

2) le niveau conglomératique correspond à des dépôts beaucoup plus récents, plio-quaternaires, et les matériaux des ouvrages qui le surmontent ne peuvent provenir que de plus bas (Hypothèse « Géologique »)

Or, nous verrons par la suite que, plus bas, sous le niveau conglomératique, se trouve la fameuse « Tafla » (marnes argileuses bariolées, gypseuses avec célestine en filons) et, en dessous, l'Éocène moyen, et que « ces marnes, par endroits bariolées, sont un caractère constant au Mokkatam de la base des formations supérieures », d'après Cuvillier.

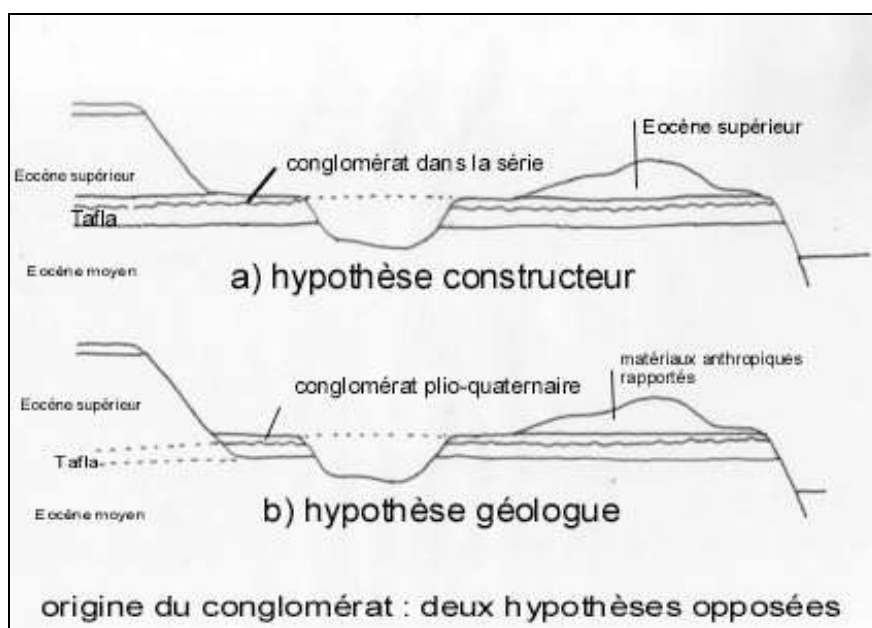


Figure 46. Deux hypothèses relatives au Niveau Sablo- Conglomératique (NSC) ou cailloutis.

Il est dès lors possible pour le « constructeur », dans sa logique « d'économie d'effort » d'esquisser une coupe-type du Plateau de Saqqarah et de tenter une interprétation quant aux matériaux qu'on devrait logiquement y trouver. Celle que nous proposons est la suivante.

Par endroits, et constituant des buttes-témoins, une partie des marnes et calcaires gypseux, superposés au cailloutis conglomératique, serait demeurée en place, de façon discontinue, épargnée par l'érosion fluviale composant les escarpements que montre la topographie du site. Ces matériaux, au sommet des escarpements, auraient alors été empruntés pour être mis en tas « en pyramide à degrés » (Djoser et Sekhemkhet), la zone d'emprunt formant les cours latérales de Djoser où affleure alors la couche de cailloutis sous-jacente ainsi dégagée par l'exploitation de la carrière.

De fait, le site de Saqqarah offrait les escarpements « hauts lieux » propices à la réalisation des premières pyramides à degrés de la III^{ème} dynastie, de par leur visibilité (peut-être) et la proximité (sans doute) de la capitale de l'époque, Memphis, que les archéologues-égyptologues situent dans la plaine entre Saqqarah et Helwan. Ce site offrait en effet, à cet

endroit précis, facilement exploitables et à portée de main, les matériaux nécessaires (et suffisants ?) à l'édification de ces pyramides.

Les dimensions restreintes des blocs de pierre fournis par le site de Saqqarah, en fait manutentionnables, impliqueront le mode de construction par murs successifs en degrés, à partir d'un pyramidion central, selon le système constructif « d'accrétion – exhaussement ».

C'est peut-être même pour ces raisons purement techniques : présence des matériaux utilisables, au niveau technologique maîtrisé sous la III^e dynastie, sur ces « hauts lieux » d'affleurement des lentilles de « formation Maadi » que les pyramides auront été construites là et à degrés par « accrétion - exhaussement », sur ces sites propices, précisément.

L'analyse et les conclusions de Myriam Wissa (1995) permettent de vérifier notre hypothèse des zones d'emprunt relatives aux différentes pyramides du plateau de Saqqarah. L'analyse des matériaux constitutifs des pyramides du plateau de Saqqarah qu'offre sa thèse est donc à mettre en relation avec d'une part les différents niveaux topographiques d'implantation (la stratigraphie étant parfaitement horizontale), des différentes pyramides sur le site, d'autre part avec les différentes techniques de construction fonction des caractéristiques des gisements. On peut y ajouter la chronologie des dynasties, bien que les matériaux fournis par chacun des gisements impliqueront la méthode constructive à appliquer.

Plateau de Saqqarah

- Mérenré	Eocène moyen	cote 46
- Pépi Ier	Eocène moyen	cote 42
- Djedkaré	Eocène moyen	
- Ounas	Eocène moyen et supérieur	cote 55
- Ouserkaf	Eocène moyen et supérieur	cote 47,7
- Sérapéum	Eocène supérieur	

Plateau d'Abousir

- Niouséré	Eocène supérieur	
- Néférirkaré	Eocène supérieur	
- Sahouré	Eocène supérieur	
- Zawyet Al Aryan	Eocène supérieur	

Plateau de Gizeh

- Mykérinos	Eocène moyen	cote 70
- Khephren		cote 70
- Kheops		cote 60

- (6) Calcaire très dur (avec oursins et autres crustacés) 6 m
- (7) Calcaire toujours extrêmement siliceux, véritable meulière 7 m

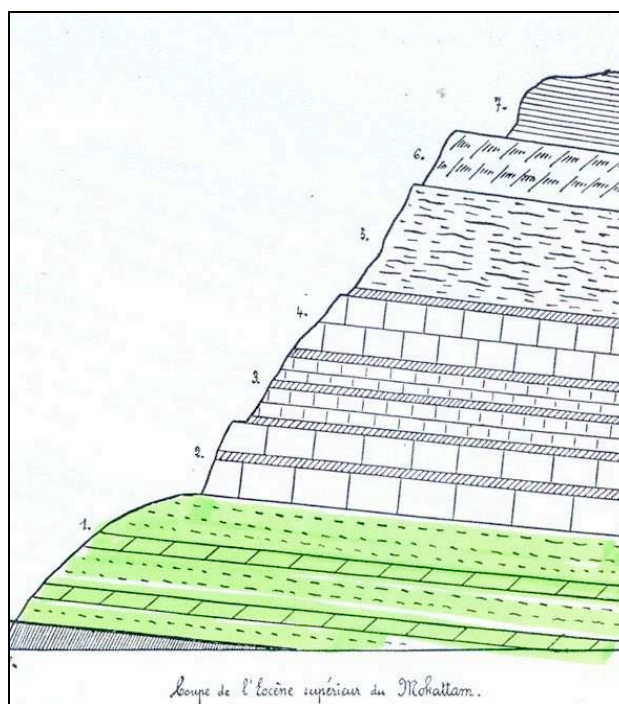


Figure 47. Coupe géologique de l'Eocène supérieur du Mokkatam

Cette couche de « Tafla » qui, dans le faciès Mokkatam (étudié ici par Cuvillier) mesure 11 m d'épaisseur, se retrouve, dans le faciès Saqqarah, apparemment d'une plus faible épaisseur, environ 2 m. La description de Cuvillier correspond bien à notre observation : « (1) Immédiatement au-dessus des couches blanches du Mokkatam moyen, on trouve une épaisseur de 10 à 12 mètres de marnes argileuses "tafle" sans fossiles sauf quelques strates calcaires intercalées où il y a de grandes *Lucina*. Ces marnes, par endroits bariolées, sont un caractère constant au Mokkatam de la base des formations supérieures ; elles sont particulièrement gypseuses et renferment en outre de la célestine en filons ou géodes. »

Néanmoins, cette couche « tafla » devait, là aussi, être surmontée directement par : « Au-dessus, un calcaire assez tendre avec de nombreuses *Nummulites*, parmi lesquelles *N. Beaumonti* et *sub-Beaumonti* » d'une épaisseur qui reste à déterminer, mais d'un gisement suffisant pour être emprunté çà et là et mis en tas (en pyramide à degrés, celle de Djoser ou/et de Sekhemkhet), réalisant ainsi les cours adjacentes et les murs périphériques (gisement peut-être simplement conservé en place ?), en fait tous les éléments qui composent ces complexes funéraires, ces murs étant ensuite parementés pour être appropriés, de part et d'autre, avec un calcaire plus fin (que l'on dit provenir de Tourah) qu'il faudrait peut-être rechercher sur le site même, sous la couche de « Tafla ».

En effet, les pyramides de Djoser, Sekhemkhet et Téli, implantées au dessus de la cote 54,60 sont bâties avec des matériaux de l'Eocène supérieur, alors que la pyramide d'Ouserkaf, toute proche, mais implantée dans une fondrière ou doline, à la cote 47,70, c'est à dire en-dessous du banc, reposera sur le substratum de Tafla et sera construite de plusieurs types de calcaires :

- remplissage en calcaire local (tafléique)
- backing-stone composé d'un mélange de pierre verte à tempestite et *de pierre à bâtir (faciès Mokattam - Eocène moyen)*
- revêtement en pierre à bâtir avec peut-être du calcaire de Tura (calcaire alvéolisé)

La présence de la « pierre à bâtir » indique que l'on est au niveau stratigraphique correspondant dans lequel on aura emprunté les derniers matériaux constituant les « backing-stone » (comblement des parements à degrés composant le « remplissage » fait de calcaire local)

A l'examen et analyse de la structure de la pyramide d'Ounas, lors de nos deux missions sur place, il ressort :

- d'une part le mauvais état des matériaux sur le sommet, sorte de tout venant de petit format dégradé par l'érosion du temps, en comparaison au bon état des parées appareillées, des backing-stones et du revêtement final,
- d'autre part compte tenu du problème de provenance de ces différents matériaux, si les matériaux des structures de gros appareil en bon état pourraient provenir du sous sol, d'une façon ou d'une autre, il semblerait envisageable que le cœur de la pyramide en mauvais état puisse être constitué de matériaux de surface, originellement situé au dessus du banc de cailloutis conglomératique, mais contrairement à Djoser on ne voit pas de zone où ces matériaux auraient été empruntés.

D'après les observations que l'on peut tirer de la thèse de Myriam Wissa, la pyramide d'Ounas offre, quant à elle, la particularité, tout en étant implantée sur le cailloutis conglomératique, à la cote 54,60 d'être composée de deux types de pierre :

- calcaire de l'Eocène supérieur pour le massif de gros-œuvre (remplissage)
- calcaire de l'Eocène moyen pour le backing-stone. qu'il aura donc fallu aller chercher plus bas en dessous du cailloutis.

Cependant, il n'est pas impossible de penser, ce qui expliquerait parfaitement l'état « démolé » (contrairement à l'interprétation « non-terminée » des égyptologues aujourd'hui) de la pyramide de Sekhemkhet, que ces matériaux aient été empruntés, récupérés, ou même volés à cette dernière, qui il faut le reconnaître, est si proche ! Et ce d'autant plus que l'histoire de la Ière Période Intermédiaire et la littérature de l'époque, à savoir les « *Instructions pour le roi Meri-ka-ré* » et « *Les remontrances du Prophète Ipu-wer* » nous y invitent.

Citons Mircea Eliade (1976) : (p 114) « *Un certain vandalisme avait surtout consterné les Egyptiens : les hommes détruisaient les tombeaux des ancêtres, jetaient les corps et emportaient les pierres pour leurs propres tombes. Comme le remarquait Ipu-wer : "nombre de morts sont enterrés dans le Fleuve. Le Fleuve est devenu une tombe" Et le roi conseillait à son fils Meri-a-ré : "N'endommage pas le monument d'un autre... Ne construis pas ton*

tombeau avec des ruines!" ».

Meri-ka-ré, le dernier roi de la Xème dynastie d'Hérakléonpolis (vers -2150), se situe juste avant le rétablissement de l'autorité et de l'unification des deux royaumes, Ounas dernier pharaon de la Vème dynastie ne le précèdent en fait que de deux cents ans ! Est-ce d'Ounas, le mauvais exemple à ne pas suivre, dont voulait parler le père de Meri-ka-ré ?

Quant à Sekhemkhet, pharaon de la IIIème dynastie (2660-2655), successeur de Djoser, sa pyramide à degrés était déjà - ou n'était que - vieille de cinq siècles.

Que faut-il en conclure ? Il faudrait rechercher si l'autre pyramide à degrés « non-terminée », celle de Zaouët el-Aryan, par exemple, attribuée, par J.Ph. Lauer, à l'Horus Khaba, successeur de Sekhemkhet, n'a pas subi le même sort, et rechercher le coupable. Il ne devrait pas être très loin !

La bibliographie des études sur la géologie de l'Egypte en général et particulièrement sur la Chaîne Libyque où se situent les sites d'implantation des différents mastabas, pyramides à degrés, grandes pyramides lisses et petites pyramides à textes, nous fait prendre conscience, d'une part des difficultés de suivre la stratigraphie des différents sites, étant donné les variations, mais aussi de la diversité de précision des différents auteurs, d'autre part, du fossé qui existe entre la vision générale de la structure géologique et tectonique à partir de la Carte géologique et la vision logistique de la structure générique des ouvrages pyramidaux, propre à l'approche de « constructeur ».

Concernant la pyramide de Djoser à Saqqarah en particulier, on peut conjecturer, en suivant cette logistique de « constructeur » - qui cherche l'économie des moyens en choisissant le site d'implantation en fonction de la présence des matériaux constitutifs des ouvrages à réaliser – que les cours latérales du complexe funéraire sont bien les zones d'emprunt des matériaux. Les matériaux nobles (de bonne dimension) auraient été réservés à la pyramide, le rebus aurait servi à construire le mur d'enceinte, parementé ensuite de pierre de taille de calcaire fin, l'ensemble du gisement ayant été ainsi épuisé, la cour laisserait apparaître le cailloutis conglomératique sous-jacent, in fine.

Cependant, du fait que ces affleurements Éocène supérieur, sur les buttes témoins, ne soient pas portés sur la Carte géologique d'une part, et d'autre part que le cailloutis conglomératique soit mal cimenté (avec micro-ravinement, fentes en coin) - et son horizontalité même -, permet, dans l'état actuel des données à disposition, de considérer une toute autre interprétation, à savoir une terrasse fluviale plio-quadernaire donc un dépôt beaucoup plus récent, ce qui interdirait toute possibilité d'existence de matériaux calcaires au-dessus de la cote 54,6 et obligerait à considérer tous ces reliefs « supérieur » comme anthropiques.

A ce stade de l'étude, la Carte géologique ne donnant aucune indication sur des lentilles (hypothétiques) d'Éocène supérieur, ni sur le cailloutis et/ou la « table » et ne disposant pas d'une coupe géologique fine du Plateau de Saqqarah, les deux interprétations opposées relatives au cailloutis conglomératique restent en présence. Ainsi il s'agit :

a) soit d'une terrasse fluviale plio-quadernaire et pas de matériaux calcaire, par dessus. Les pierres constitutives (Éocène supérieur) auront été empruntées à flanc de colline, à 2 km.

b) soit d'une couche intercalaire dans la série éocène - conglomérat marin ou fluvio-marin - auquel cas il peut être surmonté, par endroits, de roches Éocène supérieur, « pierre à bâtir »,

encore en place sur les sommets des buttes témoins laissées par l'érosion fluviale des Wadi. Nous serions, dans ce cas, dans la configuration de faciès de la formation Qasr El Sagha décrite par R. Said : « dans le bassin de Fayoum Gindali, notamment au Sud-Ouest, les dépôts marins peu profonds s'intercalent avec des sédiments fluviaux correspondants à la formation de Qasr El Sagha, (dépôts deltaïques.) » et cité par M. Mostafa (1999), p. 69, § II.4.3.1. En effet, le site d'implantation des pyramides à degrés de Saqqarah semble bien se situer à la limite, si ce n'est à l'intérieur, de la zone de dépôts deltaïques, là où « les dépôts marins peu profonds s'intercalent avec des sédiments fluviaux ». Les diverses régressions-transgressions marines et les dépôts sédimentaires fluvio-marins, entre Éocène moyen et Éocène supérieur auront-ils permis d'intercaler localement ce niveau conglomératique ou cailloutis hétérogène, sur une couche de marnes argileuses bariolées ou Tafla ?

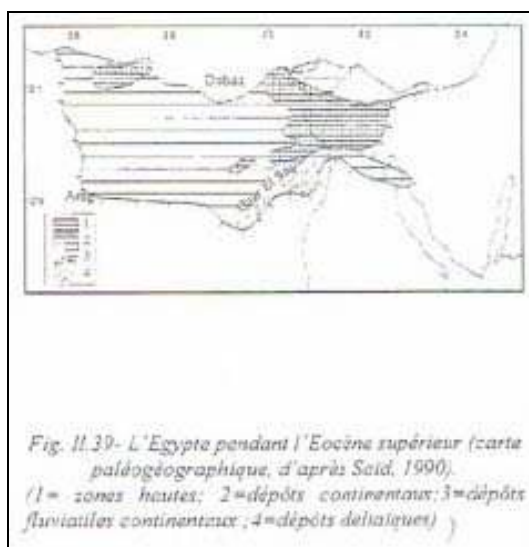


Figure 48. Formation Qasr El Sagha

En conclusion, cette interrogation doit trouver sa réponse par l'étude géologique locale approfondie.

13.6. Conclusion

13.6.1. Zones d'emprunt et carrières

Les missions de vérification effectuées sur le site de Gizeh, nous l'avons rapporté en tête de ce chapitre, ont déterminé les zones d'emprunt des matériaux et recherché les reliquats de carrière de chacune des trois pyramides. De la même façon, la zone d'emprunt des matériaux de la pyramide de Djoser sur le plateau de Saqqarah se situe alentour et constitue les cours adjacentes.

13.6.2. La restitution du plateau de Gizeh

En effet, Maragioglio et Rinaldi ont identifié des reliquats de carrières au pied de Khephren et de Mykérinos (carrière ensablée), mais d'autres zones d'extraction sont perceptibles à l'ouest de Khephren, où peuvent être mis en évidence les chemins de bardage des blocs.

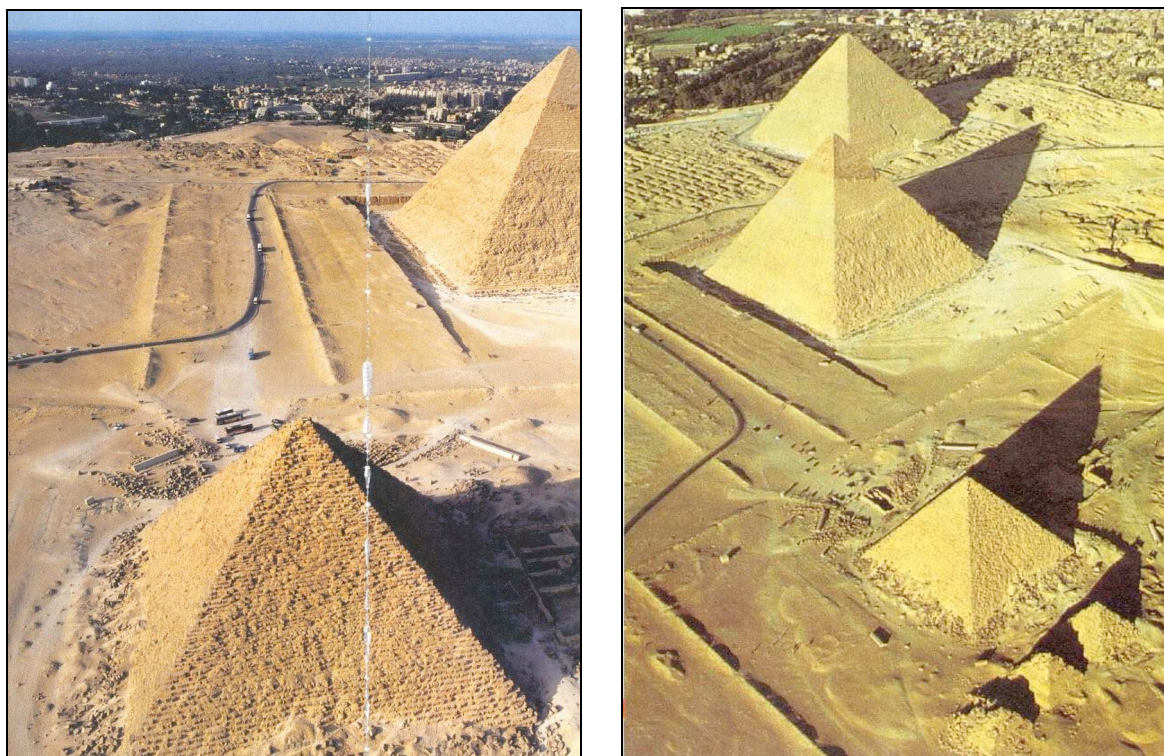


Figure 49. Vues aériennes des pyramides et des différentes carrières sur le plateau de Gizeh. (photoHachette)
(Guido Rossi/Image Bank)

L'observation attentive du site, en vue aérienne, des emplacements des carrières des trois pyramides de Gizeh doit être faite, en y intégrant désormais les différentes données de la tectonique, de la géologie, de la stratigraphie, des pendages et des affleurements, de la superposition des systèmes de fracturation naturelle des roches, et de la topographie. Il sera alors possible de simuler le plateau pré-existant à la construction des pyramides et de vérifier les zones et volumes d'emprunt, de rechercher le phasage des carrières et d'envisager la logistique et l'organisation du chantier, ainsi que les dispositions relatives à l'habitat et l'intendance des ouvriers. Il sera également possible d'explicitier les variations dans la qualité et/ou la densité des matériaux en fonction des bancs de pierre exploités.

Les zones d'emprunt des trois pyramides ont été partiellement repérées

- pour Kheops, sous les champs de mastabas à l'Est et surtout à l'Ouest,
- pour Khephren, au pourtour proche à l'Ouest et surtout sur l'ensemble du versant à l'Est ; la tête de Sphinx (9 m) en est le témoin

- pour Mykérinos, alentour, et principalement à l'angle Nord-Ouest où l'on retrouve des reliquats de carrières en tranchées, pleines mais ensablées. Ce reliquat de carrières mériterait d'être fouillé et mise en valeur.

Un relevé topographique, un relevé de la fracturation naturelle et des zones d'emprunt permettraient de modéliser le plateau pré-existant et de calculer les volumes.

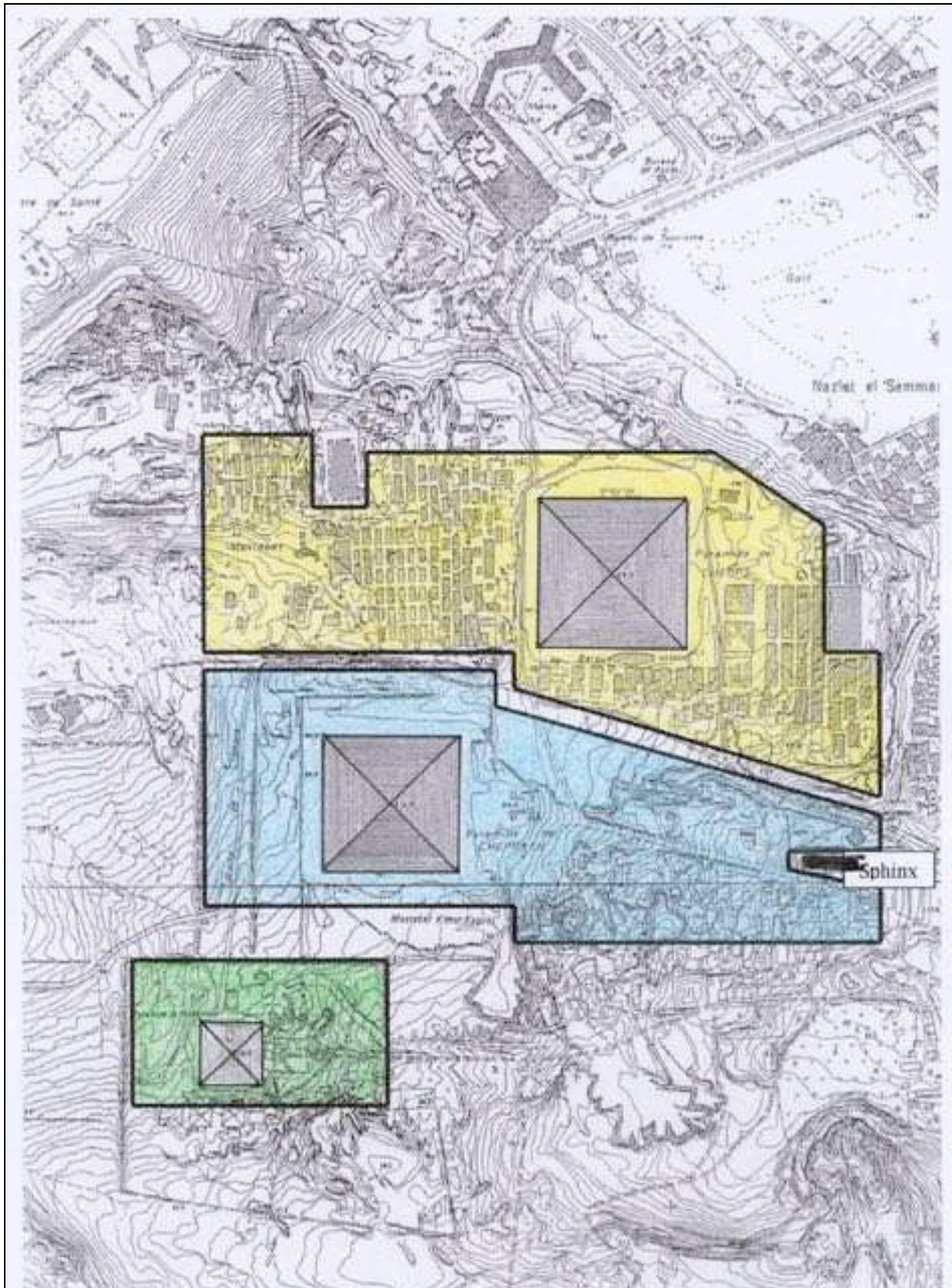


Figure 50. Orthophotoplan du plateau de Gizeh servant de fond à la restitution avant l'édification. (d'après l'auteur)

13.6.3. La restitution du plateau de Saqqarah.

De la même façon, mais pour d'autres raisons relatives à la vérification des différentes zones et caractéristiques des matériaux empruntés alentour des différentes pyramides et mastabas, il s'avère nécessaire de restituer la composition stratigraphique générale de l'ensemble du plateau de Saqqarah, qui mis en regard de la topographie résultant de l'érosion fluviale ancienne, devrait offrir une concordance d'affleurements révélatrice.

13.6.4. Vérification des procédés d'extraction et de transport

Ces vérifications sont désormais nécessaires. Elles n'ont pas encore pu être menées à terme. Il convient en effet d'expérimenter et de tester, par la pratique (en vraie grandeur), le procédé d'extraction « démisage » et le dimensionnement et fonctionnement de la « machine faite de courtes pièces de bois », trépied et bras de levier, à l'instar du chadouf. Ce travail, qui dépend de la collaboration des carriers, maçons, appareilleurs et tailleurs de pierre, mais aussi des mécaniciens doit se poursuivre avec les Compagnons du Devoir (A.O.C.D.T.F).

La recherche et la mise en évidence, in situ, des stigmates d'exploitation des strates et des entailles entre strates pour y loger les outils, sur le temenos ou péribole et sous les blocs en assise, ainsi que dans les reliquats de carrières au pied des pyramides nous paraît nécessaire. Il serait du premier intérêt de retrouver ces entailles et des coins encore en place.

La méthode d'extraction par tranchées orientées sur les diaclases diagonales, les massifs ainsi délimités ensuite, « démisés » par levage à l'aide de leviers fichés dans des boîtes d'extraction, les reliquats de boîtes d'extraction visibles au sol et sur les strates / assises demeurées en place (rebouchées par des diaphragmes en pierre), la possibilité de refend des massifs en fonction des fissures fines des diaclases diagonales pour fournir des blocs à transporter et à mettre en œuvre, tout cet enchaînement de tâches et de manutentions semble possible, cohérent et efficace en terme de Métier. Un essai d'extraction en vraie grandeur, in situ, serait nécessaire.

13.6.5. Les vérifications par simulations infographiques

Notre « modèle » « d'accroissement pyramidal » « interactif » et « prédictif » s'étant révélé des plus utiles à la compréhension et à la vérification, il nous semble intéressant de pousser plus loin sa performance et son utilisation par différentes simulations :

- Simulation info-graphique de la modélisation, et de l'ensemble de la construction de la pyramide de Kheops (algorithme et carrière) et des dispositifs intérieurs qu'il conviendra de comparer ensuite aux relevés de l'édifice.
- Simulation par maquette et images de synthèse du fonctionnement de « l'extraordinaire ascenseur oblique » que constitue la Grande Galerie qui permettrait une vérification de l'interprétation fonctionnelle et utilitaire proposée.

La Grande Galerie de Kheops, en tant que « extraordinaire ascenseur oblique » a été étudiée dans ses dispositifs visibles encore en place : glissière et crémaillère, course des hermes correspondant à la distance des mortaises. Cependant, il reste à modéliser les dispositifs complémentaires (rouleau de rappel amovible sur paliers) et à simuler le fonctionnement dynamique.

La méthode de mise en œuvre, par élévation élémentaire d'une assise sur l'autre, à l'aide « d'une machine faite de courtes pièces de bois » (cf. Hérodote), un trépied sur lequel manœuvrer un levier, dans l'enchaînement et la répétition de gestes maîtrisés et sécurisés, la démultiplication des équipes rendue possible par le système « des pelures d'oignon » semble admissible. Elle nécessite néanmoins, une vérification par des essais en vraie grandeur.

Les éléments de preuve apportés pour l'heure, dans le cadre des possibilités qui nous ont été offertes nous semblent positifs et encourageants. Ils devraient pouvoir être complétés par les recherches géologiques proposées et par les observations de détail sur les sites considérés.

Globalement, les deux missions scientifiques de vérification in situ auront été positives, elles ont permis de vérifier l'hypothèse-postulat de l'exploitation de carrières alentour des pyramides par le repérage des zones d'emprunt, l'observation des caractéristiques géologiques des gisements et la correspondance des procédés constructifs adaptés, même si, dans certains cas comme pour Djoser, certains prélèvements d'échantillons et des compléments d'étude géologique seraient nécessaires.

14. NIVEAU TECHNOLOGIQUE SOUS L'ANCIEN EMPIRE

Afin de fixer les connaissances et capacités techniques des constructeurs des grandes pyramides sous l'Ancien Empire et éviter atermoiements et discussions stériles, il convient d'analyser d'autres ouvrages de l'époque ou précédents, ouvrages mineurs et utilitaires, qui, là aussi, devraient nous permettre de mieux appréhender les outils et méthodes, dans la pratique ouvrière.

14.1. barrage sur Wadi Garawi ou connaissance de l'algorithme

Jean Kérisel (1991) dans son ouvrage « La pyramide à travers les âges » (page 79, figure 50), avec ce commentaire : « *Les restes du barrage Saad elKafara sur le wadi Garawi (2600 av.J.-C.) (affluent en rive droite du Nil). Tout comme les barrages modernes, il comportait un noyau étanche, recouvert à l'amont et à l'aval par des enrochements.* » nous offre une photographie intéressante à étudier (ci-dessous).



Figure 1. Le barrage sur le Wadi Garawi pratique l'algorithme (photo 1 : J. Kerisel)

En effet, cet enrochement en surface du noyau de tout-venant, n'est pas disposé n'importe comment, en « opus incertum » tel que nous, les modernes, les faisons aujourd'hui à l'aide d'une grue qui pose les blocs par le haut, mais au contraire, il présente un ordonnancement peu commun qui correspond à son mode de mise en œuvre, par une manœuvre particulière d'une machine qui produit, génère ce type d'appareil, dit « appareillage horizontal régulier » ou éventuellement « appareillage horizontal à décrochement » (il faudrait pouvoir étudier l'ouvrage de plus près).

Il est de fait, étant donné la date approximative de construction de l'ouvrage, qu'il appartient à l'Ancien Empire et plus particulièrement au début de la IV^{ème} dynastie, sous Snefrou ou Khéops, c'est à dire à l'époque où l'on invente « la machine » capable de lever des blocs « cyclopéens », celle dont nous parle Hérodote !

D'après l'auteur cité plus haut : « *on oublie en effet que les Egyptiens avaient aussi une grande*

maîtrise des travaux hydrauliques. Plusieurs publications étrangères (G. Garbrecht, professeur à l'Institut de recherches Hydrauliques de Braunschwig, qualifie cet ouvrage du plus vieux grand barrage du monde) viennent en effet de mettre l'accent sur les techniques novatrices qui apparaissent dans la barrage construit du temps de Khéops sur un affluent du Nil, le wadi Garawi », dès lors rien n'interdit de penser que cette période soit particulièrement riche en innovations techniques, ce qu'Hérodote semble vouloir suggérer.

Citons Bruno Jacomy (1990) :

(p. 46) « Les grandes zones fluviales dans lesquelles viennent s'installer les premières populations d'Égypte et de Mésopotamie jouissent de conditions géoclimatiques tout à fait propices à une agriculture riche et variée, mais à condition de tirer parti des crues abondantes et parfois dévastatrices des deux bassins. Dès lors, leur développement se trouve lié à la mise en œuvre d'importantes infrastructures hydrauliques - barrages, canalisation des cours d'eau - nécessairement dotées d'une gestion rigoureuse des périodes de retenue ou d'écoulement. Une telle exploitation n'est envisageable qu'au plan d'un pays et impose, pour être efficace, une centralisation des décisions et une maîtrise de l'information liées à un pouvoir fort. Une fois ces structures en place, la prospérité des populations va accompagner la richesse croissante des administrations centrales. Le savoir-faire technique acquis dans la construction de digues, de canaux, de barrages, est peu à peu mis à profit pour l'édification de tombeaux, de temples et de palais, mais aussi des réseaux urbains d'alimentation et d'évacuation en eau. »

Certes les blocs mis en œuvre ici n'ont rien de « cyclopéens », néanmoins ils sont trop lourds pour être manu-portables, il faudra donc avoir recours à un outil adapté, une « machine » capable de les lever et de les mettre en œuvre.

On a de la peine à imaginer ici l'utilisation de la technique « rampiste » qui nécessiterait en amont et en aval des ouvrages annexes supérieur en travail au barrage lui-même, qu'il faudrait ensuite démolir, ici comme pour les pyramides ! Mais que faire alors de tels volumes empruntés ?

Cette technique particulière serait alors, avec deux siècles d'avance, l'ancêtre de la technique utilisée pour la construction des pyramides à textes des Vème et VIème dynasties, par exemple la pyramide d'Ounas, technique qui consistera à enserrer des parées de tout-venant dans des murs de parement appareillés, faits de blocs de taille (moyenne) similaire. Bien sûr, cette technique est adaptée au plan linéaire du barrage alors qu'elle se développe sur plan carré dans la pyramide. Il serait intéressant de voir s'il existe plusieurs phases d'accroissement avec des parées successives comme on en trouve dans le Tumulus (F1) de Bougon.

La fouille archéologique d'un tel « ouvrage mineur » permettrait peut-être de préciser le niveau technologique de l'époque voire même la méthode de construction ou « système constructif ».

En conclusion, il est tout à fait plausible que le mouvement élémentaire (dénommé algorithme en mathématique et physique) consistant à monter un bloc sur deux autres, à l'aide d'une « machine faite de morceaux de bois courts », par addition successive de blocs (instaurant une récurrence), ce qui correspond exactement au "système constructif" utilisé pour la construction des pyramides lisses, ait été inventé, testé et développé pour la construction des perrés des digues et des barrages dont l'usage est attesté par Hérodote (l'Enquête-Livre II-99) dès le premier Pharaon Min (Meni ou Menès, 3185-3125), le fondateur de l'Égypte :

« Min fut le premier roi d'Égypte et c'est lui, m'ont dit les prêtres, qui a protégé Memphis par une digue. Le fleuve coulait alors tout entier au pied des montagnes sablonneuses de la rive Libyque ; Min fit barrer par une levée de terre le coude que le Nil dessinait vers le midi, à quelques cent stades en amont de Memphis, pour mettre à sec l'ancien lit, et, par un canal, contraindre le fleuve à couler au milieu de la vallée. De nos jours encore les Perses surveillent de près ce coude du Nil pour maintenir le fleuve dans son cours actuel, et ils consolident chaque année la digue qui le ferme ; car si le fleuve parvient un jour à la rompre et à se répandre de ce côté, Memphis risque d'être submergée toute entière. Puis, disent les prêtres, quand il eut transformé en sol ferme l'ancien lit du fleuve, ce Min, le premier roi du pays, fit bâtir la ville qu'on appelle aujourd'hui Memphis (elle se trouve aussi dans la partie étroite de l'Égypte) ; puis, en dehors de la ville, au nord et au couchant, il fit creuser un lac artificiel alimenté par l'eau du fleuve (au levant le Nil lui-même la protège). Enfin il éleva dans cette ville le temple d'Héphaïstos (Ptah), qui est vaste et particulièrement digne de mention. »

14.2. Traction animale

L'iconographie égyptienne pourtant si riche dès les époques les plus anciennes, sur les parois des tombes ou temples, ne nous offre que très peu d'exemples d'utilisation de la force animale, de bât ou de trait.

Certes les différents animaux aquatiques, terrestres ou aériens seront représentés de nombreuses fois, ainsi que les scènes de la vie quotidienne rurale, agricole ou pastorale, s'y rapportant, activités diverses, chasse, pêche, élevage et capture, et nous offre toujours des détails précieux, autochtones, anatomiques, pris sur le vif ; d'autres fois l'artiste nous offre un dénombrement d'un cheptel, un vèlage, le veau que l'on emporte pour faire suivre sa mère, abattage et découpe, etc.

Dès les premières représentations la relation de l'homme à l'animal est décrite sur les différentes palettes ou têtes de massues. Sur la tête de massue de Scorpion, on voit le roi : « *Vêtu d'une tunique et d'un pagne à la ceinture duquel est attachée une queue de taureau, il aménage à l'aide d'une houe un canal, tandis qu'un homme emplît un couffin de terre et que d'autres s'affairent à proximité de l'eau à côté d'un palmier en pot* » d'après Grimal (1988). Faut-il en conclure, dans cette représentation « symbolique » que les travaux « publics » de génie civil hydraulique de l'époque de la Ière dynastie se faisaient exclusivement de main d'homme ?



Figure 2. Tête de la massue de Scorpion (photo N. Grimal / Fayard)

Le détail des représentations de la « tombe décorée » de Hiérakonpolis (figure ci-après), datée de la période Gerzéenne, nous montre, au milieu de scènes navales différentes activités humaines, de chasse et de combat, une scène étonnante où l'on voit cinq « antilopes » attachées à un cercle-roue qui pourrait s'interpréter comme un manège, un moulin ou une noria.

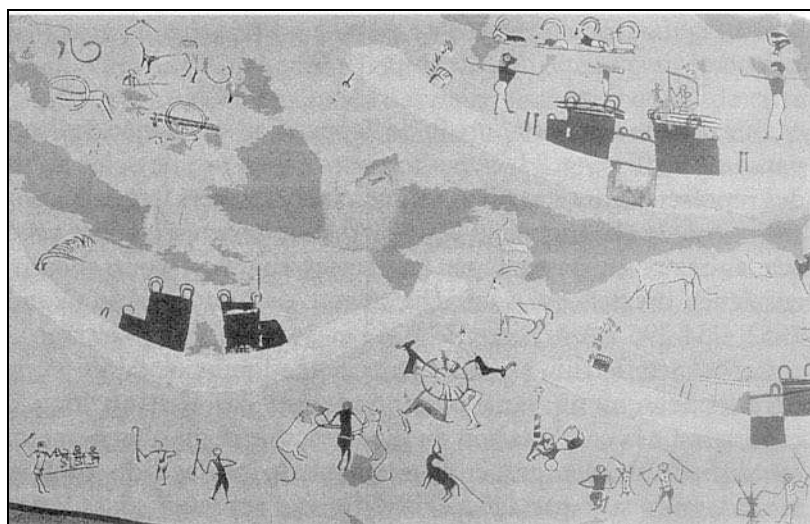


Figure 3. Tombe décorée d' Hiérakonpolis (photo N. Grimal / Fayard)

Le tombeau de Ti est particulièrement riche de ces scènes naturalistes (scène des grands taureaux à cornes en forme de lyre, portant des colliers), mais on n'y trouvera aucune scène qui permette d'attester que les animaux aient pu servir d'animaux de bât ou de trait. Serait-ce un oubli de l'artiste ?



Figure 4. Scène animale du Tombeau de Ti (photo F. Daumas/Arthaud)

Faut-il croire alors Hérodote (L'Enquête, Livre II, §14) :

« Certes ces gens (les égyptiens) sont aujourd'hui, de toute l'espèce humaine en Egypte comme ailleurs, ceux qui se donnent le moins de mal pour obtenir leurs récoltes : ils n'ont pas la peine d'ouvrir des sillons à la charrue et de sarcler, ils ignorent tout des autres travaux que la moisson demande ailleurs. Quand le fleuve est venu lui-même arroser leurs champs et, sa tâche faite, s'est retiré, chacun enseme sa terre et y lâche ses porcs : en piétinant, les bêtes enfonce le grain, et l'homme n'a plus qu'à attendre le temps de la moisson, puis, quand les porcs ont foulé sur l'aire les épis, à rentrer son blé. »

Cependant, d'une part Nicolas Grimal (1988, p 105), rapporte le récit que Horkhouef, gouverneur d'Éléphantine, sous le règne de Mérenré, VIème dynastie, fit de sa conquête du Pays de Iam : « *Mais je descendis avec trois cents ânes chargés d'encens, ébène, huile-hekenou, des grains-sat, peaux de panthère, défenses d'éléphants, boomerang, toutes choses belles de valeur...* »

et d'autre part, une peinture murale de la salle 24 du Temple majeur de Médinet-Habou, XXème dynastie, nous montre Ramsès III qui cultive les champs élyséens égyptien « *Aussi, avec sa charrue attelée de quatre bœufs, coiffé de la couronne blanche, labourait-il le sol, avant de couper l'épeautre à la faucille ...* » d'après Daumas (1965, p 224, commentaire de la fig. 64).

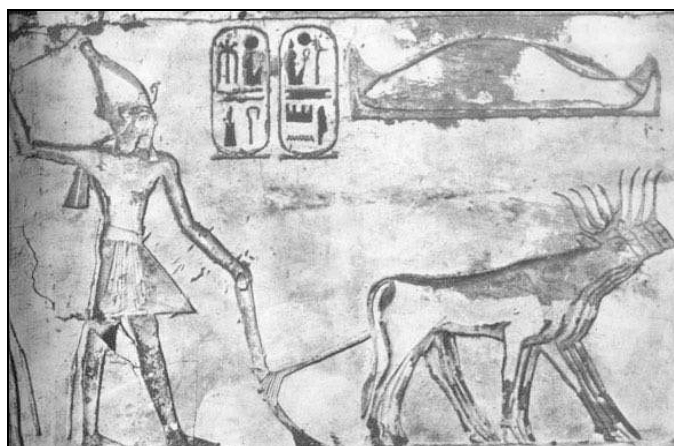


Figure 5. Ramsès III cultive les champs « élyséens » avec une charrue attelée de 4 bœufs (photo F. Daumas/Arthaud)

Que faut-il en conclure, pour notre sujet, concernant l'utilisation des animaux dans la

construction des pyramides, en carrière, en transport et en mise en oeuvre? Faut-il refuser cette participation ou au contraire la subodorer, même si elle n'est nulle part attestée à l'Ancien Empire ? Peut-on aller jusqu'à penser que les razzia de Snéfrou en Nubie avaient pour but de lui procurer des animaux de bât et/ou de trait pour la construction de ses pyramides ou s'agissait-il simplement d'augmenter son cheptel, pour la boucherie ? Certains pensent qu'il s'agit là, alors, d'une preuve irréfutable de la théorie "rampiste", refusant l'image habituelle des esclaves tirant les blocs sur les « *levées de terre* » ?

Peut-on imaginer des attelages d'ânes ? Cela semble difficile, s'agirait-il alors de bœufs, sans doute puisque le cheval n'était pas encore en Egypte ni donc la mule ; de bœufs ou de vaches d'attelage puisqu'il semble difficile d'atteler des animaux sauvages !

J.-P. Adam (L'archéologie devant l'imposture, p.154) nous fournit cependant un « *bas relief de Tourah* » représentant un « *attelage de trois paires de bœufs, en éventail de part et d'autre d'un câble de traction* » tirant un bloc de pierre sur un traîneau ; malheureusement le document n'est pas daté ; On peut néanmoins envisager ce mode de transport pour le transport le blocs en sortie de carrière. Ceci nécessite alors un cheminement quelque peu aménagé.

De là à généraliser ce mode d'acheminement des blocs de 2,5 tonnes sur une rampe frontale ou hélicoïdale, jusqu'à 147 m de hauteur, il y a un pas que nous hésitons à franchir !

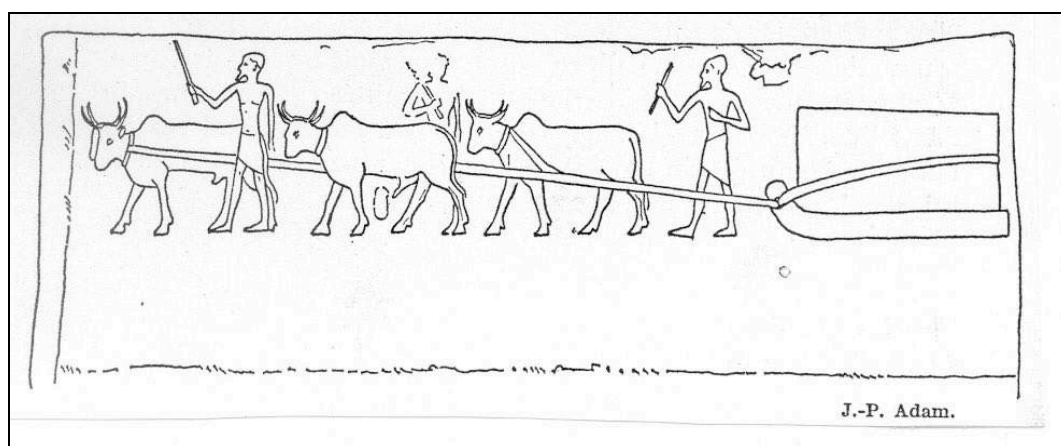


Figure 6. Attelage de 3 paires de bœufs sur un bas relief de Tourah (d'après J.P. Adam)

Dans son ouvrage intitulé « Une histoire des Techniques », Bruno Jacomy (1990) écrit : (p 31) « *on attribue généralement la découverte de la roue aux Sumériens, environ 3500 ans avant notre ère. Le portage animal, à dos d'âne ou d'onagre, cède la place, pour les grandes distances, à des voitures à deux ou quatre roues tirées par des bœufs, puis des chevaux ; bien sûr, le réseau routier doit se développer parallèlement.* »

Avec un seul fleuve et une population concentrée sur ses rives et son delta, l'Egypte développera bien davantage la navigation fluviale et n'utilisera que très peu les transports terrestres.

Le passage à l'araire, pour sa part, n'est rendu possible qu'avec la domestication du gros bétail, vers 3500 av. J.-C. »

Cependant, en Egypte, encore au Nouvel Empire, sur les décorations du Tombeau d'Ousou montrant plusieurs scènes des travaux des champs, l'araire est encore tirée par la traction

d'hommes

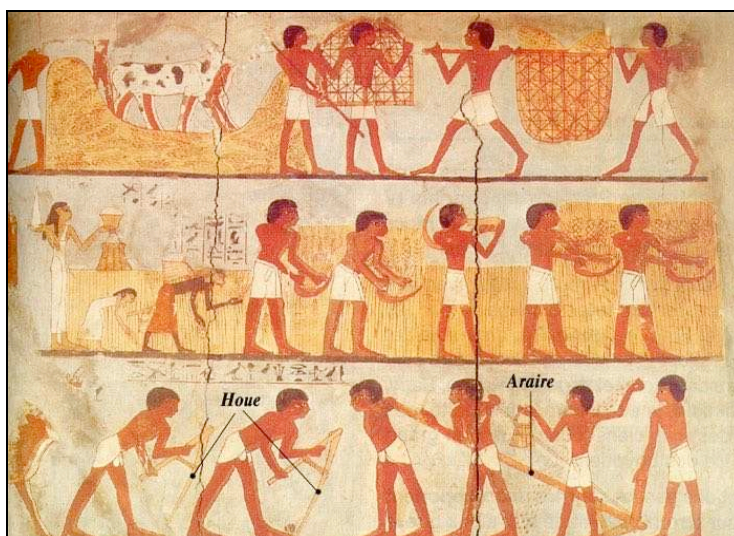


Figure 7. Les travaux des champs, Tombe d'Ounsou, Nouvel Empire (photo Buloz/Musée du Louvre)

Ces scènes relatives aux travaux des champs et plus particulièrement au cycle du blé ou de l'épeautre, nous montrent en détail : le labour à l'araire tirée par 4 ouvriers, les semailles, le sarclage à la houe, la moisson des épis à la faucille, un esclave noir et un enfant glane à l'arrière tandis qu'une servante apporte de quoi régénérer les forces des moissonneurs, puis le transport des épis en vrac dans une corbeille en vannerie jusqu'à l'aire de battage où tourne les bœufs, etc.

Comment transportait-on les blocs de 2,5 tonnes de la carrière à pied d'œuvre ? A notre avis, à main d'hommes, sur des traîneaux sur glissières de bois, comme cela se faisait encore il y a cinquante ans dans les carrières en France, la traction animale ne semble pas assez souple pour effectuer cette tâche à la fois délicate et facile, dix hommes suffiront.

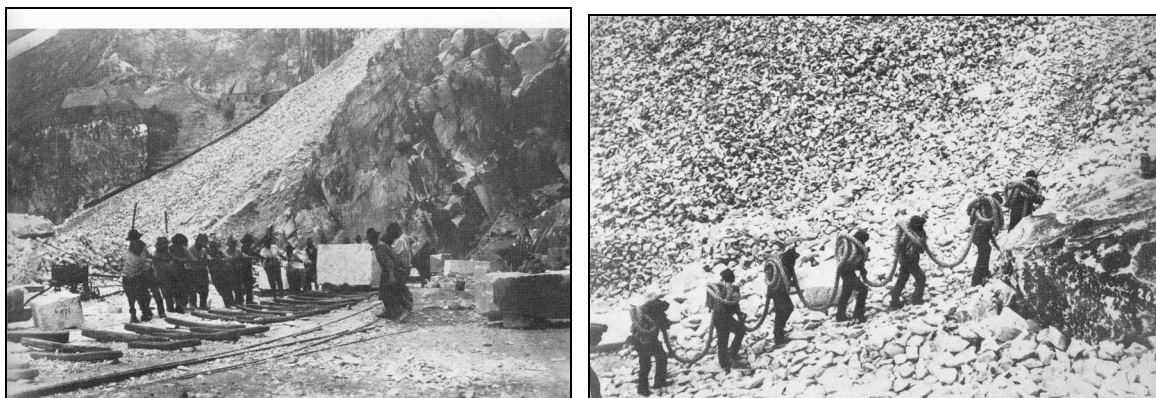


Figure 8. Carrières de Carrare (Italie) : sortie des blocs à main d'hommes, il y a 50 ans (photo Società Editrice Apuana / Carrara)

14.3. Outils de levage

Citons encore Jacomy (1990) :

(p 45) « Alors que les Egyptiens n'utilisaient comme seuls appareils que le levier et le coin, l'imposante architecture de pierre de taille développée par les Grecs bénéficie des progrès mécaniques réalisés au cours des Ve et IVe siècles par les premiers grands ingénieurs, dont Archytas de Tarente, au début du IVe siècle, à qui l'on attribue notamment l'invention de la vis et de la poulie. En possession de ces éléments nouveaux, les premiers engins de levage sont utilisés dans la construction : chèvres et grues, treuils, palans, mouffles... Les pierres des murs ou des colonnes peuvent ainsi être montées sans le recours à la technique des rampes égyptiennes, longues et coûteuses dans les contextes grec et romain. »

Parlant de l'utilisation des rampes en Egypte :

(p. 65) « De même que les transports sont avant tout fondés sur le flottage, monuments et carrières étant situés sur les bords du fleuve, toutes les techniques de transport terrestre découlent du principe du transport flotté. Les méthodes acquises au temps de l'édification des grandes pyramides (?) ont été appliquées à des blocs de pierre de plus en plus gros : des pierres de plus de 5 tonnes aux obélisques et autres colosses de 170 tonnes. Le principe de transport de ces lourdes charges sur terre et jusqu'en haut des murs est toujours le même et découle d'une parfaite connaissance des propriétés des matériaux qui sont à portée de la main, essentiellement les terres limoneuses du Nil. Les limons sont couramment utilisés, comme dans de nombreux pays encore aujourd'hui, pour bâtir en brique crue l'habitat local, mais ils possèdent en outre la faculté de devenir glissants comme de la neige lorsqu'ils sont arrosés d'eau.

Ces techniques éprouvées se sont révélées particulièrement efficaces lors des travaux de restauration du temple de Karnak après l'effondrement du toit de la salle hypostyle, au début de notre siècle. Les techniques antiques furent alors appliquées avec scepticisme mais ont démontré leurs remarquables performances. Le témoignage d'Henri Chevrier, qui dirigea les travaux en 1934, est saisissant : "Devant cet appareil (copie d'un traîneau antique), la piste fût arrosée superficiellement et une cinquantaine d'hommes furent attelés aux deux brins d'une corde de traction. Au coup de sifflet, pas plus convaincus que moi qu'ils arriveraient à faire démarrer la charge, leur action fut plus énergique et le résultat immédiat : ils tombèrent tous (sauf votre respect) cul par dessus tête, les patins et leur charge mis en mouvement facilement, mais dérapant latéralement pour s'arrêter à la limite de la surface mouillée sans creuser d'ornières : seule la pellicule lubrifiée par cet arrosage superficiel fut décapée. La solution s'imposait : il faut et il suffit de n'arroser que la largeur de l'appareil et aussi de réduire considérablement le nombre d'ouvriers tracteurs. Eux aussi avaient compris. De proche en proche, mes ouvriers jouant le jeu, on descendit à six hommes, trois à chaque brin de corde de traction, sans effort excessif de leur part. Première conclusion : un homme, une tonne ; il en faut autant pour déplacer la même charge sur un wagonnet Decauville aux roulements bien graissés. Deuxième conclusion : le coefficient de frottement du limon durement compacté est voisin de zéro". Cette citation a été empruntée à Jean-Claude Golvin et Jean-Claude Goyon, *Les Bâisseurs de Karnac*, Paris, Presses du CNRS, 1987, p. 101.

... Pour monter les blocs de pierre aux hauts niveaux des temples, il suffit, avec ce principe, de construire en briques crues des rampes avec une pente de 4 à 5° et de faire glisser dessus les blocs amarrés sur des traîneaux. Cela dit, ces rampes exigeaient des travaux de terrassement énormes qui ne pouvaient être envisagés que grâce à un nombre considérable de manœuvres, prisonniers de guerre pour beaucoup d'entre eux »

(p 69) « Le coin, le levier et le plan incliné constituent les seules machines élémentaires

utilisées par les Egyptiens dans les travaux monumentaux. Les principes de base des techniques égyptiennes étaient d'abord d'utiliser la main-d'œuvre en grand nombre et, dans l'édification des bâtiments, de ne jamais soulever les pierres mais de les faire glisser. Certes ils connaissaient la roue, mais ne l'utilisaient que pour des travaux de transport de faible poids et de courte distance. »

Néanmoins dans la chronologie des ouvrages, il nous faut faire remarquer dès l'abord que les techniques de manutention, de levage et d'érection qui auront permis de dresser les piliers monolithiques en granite du Temple bas du Sphinx était mise en œuvre dès 2700 av. J.C soit 22 siècles avant les réalisations grecs ; les colonnes engagées (cannelées, fasciculées ou papyrus) du Temple du complexe funéraire de Djoser à Saqqarah, sont encore antérieures ; et les Grecs ont trouvé, à leur arrivée en Egypte au VIème siècle av. J.C., une architecture grandiose qui aura nécessité des connaissances techniques et des moyens d'extraction, de transport et de levage qu'ils n'atteindront jamais eux-mêmes !

Les colonnes de la salle hypostyle du Grand Temple d'Amon-Ré à Karnac, construit sous la XIXème dynastie (1300-1200), hautes de 24 mètres, sont contemporaines de la prise de Troie par les Achéens.

Il conviendrait dès lors, car diverses publications égyptologiques répandent ces erreurs qui sont ensuite reprises par d'autres, d'une part de bien attribuer aux Egyptiens l'invention ou la maîtrise des moyens techniques (extraction, transport et levage) correspondant aux ouvrages réalisés chronologiquement, et parallèlement de refuser l'explication des remplissages de terre des Temples pour expliquer l'érection des colonnes, architraves et plafonds, des pylônes et des obélisques.

Ce n'est pas parce que ces Temples ont été découverts ensablés qu'ils ont été construits de la sorte. L'idée ne viendrait à personne de proposer une telle technique en Grèce, leurs Temples n'ont jamais été ensablés, situés sur des hauts lieux et éloignés du désert. Non ! Les techniques de levage existaient bel et bien en Egypte, pour dresser les piliers monolithiques du Temple du Sphinx, dès l'Ancien Empire ; le mât double des bateaux, qui faut bien dresser, illustre, on ne peut mieux, le principe et l'utilisation de la bigle suffisante pour construire le grand Temple d'Amon-Ré à Karnac ; et chacun sait bien que depuis la préhistoire l'homme sait relever des pierres ! A Carnac, par exemple ! Et tout proche, à Locmariaquer, le grand menhir, brisé et par parties réutilisé dans les dolmens avoisinants, mesurait, d'après J.-P. Mohen (1989) quelques 20 m de hauteur et pesait quelques 350 tonnes !

La forme même des temples égyptiens et leur mode d'agrandissements successifs se prêtent particulièrement bien à l'utilisation de la chèvre, véritable chemin de grue avant l'heure.

14.3.1. Présence et utilisation du bois

Empruntons à Nicolas Grimal (1988, p 147) qui lui même donne ses sources (Roccati, 1982, 196-197) en espérant que la chose est véridique, citant Ouni, officier de Mérenré, pharaon de la VIème dynastie, dans l'autobiographie qu'il fit graver dans sa chapelle funéraire à Abydos :

« Sa Majesté m'envoya à Hatnoub pour transporter une grande table d'offrande en albâtre de Hatnoub. Je fis descendre pour lui cette table d'offrande, détachée à Hatnoub en dix-sept jours, et je lui fis descendre le fleuve vers le nord sur le même radeau, je coupai pour elle (la

table) un radeau en acacia de soixante coudées de long, trente coudées de large, fabriqué en dix-sept jours, le troisième mois de l'été. (...) Sa Majesté m'envoya creuser cinq canaux dans la Haute Egypte, et exécuter trois radeaux et quatre chalands en acacia de Ouaoouat (...). »

La désertification entamée depuis le Néolithique en Afrique saharienne, offrait encore malgré tout des capacités d'exploitation de bois d'acacia à Ouaoouat (proche de Ouadi Halfa en Nubie) au point de faire - sans autre problème, le plus naturellement - un radeau de cette taille. Les acacia sont les arbres les plus communs des déserts saharo - indiens. Il en subsiste quelques uns dans les régions les plus sèches. *Acacia raddiana*, à la silhouette caractéristique en forme de parasol, est le plus communément répandu de la Mauritanie au nord de l'Inde.

On connaît par ailleurs les approvisionnements de cèdres du Liban, bois d'arbres de haute tige, de grande résistance et de bonne flottaison, attestés dès le règne de Snéfrou, et les barques solaires des différents pharaons de la IV^{ème} dynastie sont autant de preuve de la maîtrise technique des constructeurs navals de l'époque.

On connaît bien les relations suivies entretenues dès la période thinite entre l'Egypte et la région côtière de Syrie et de Palestine, que les Grecs appelleront Phénicie : à Biblos (Djébaïl), un cylindre de la monarchie thinite (3300-3000), des vases et des statuettes attestent des relations commerciales et religieuses avec l'Egypte. Biblos était en effet une ville sainte pour les Egyptiens : n'était-ce pas sur ses bords que s'était arrêté, pris dans les branches d'un tamaris, le coffre où Seth avait enfermé le corps de son frère Osiris assassiné ? L'arbre contenant les restes sacrés devint le pilier dans le palais royal et, pour les reconquérir, Isis dut pénétrer comme servante chez le roi, qui lui fit don de l'arbre et du corps de son époux, après l'avoir vue, transformée en colombe, voler éperdument autour du pilier mystérieux.

Biblos domina longtemps grâce à son port, que fréquentait une foule cosmopolite, et à ses ateliers de construction navale, puis Tyr apparut, fondée vers 2750 sur un îlot voisin de la côte.

L'Egypte, dès le début du III^{ème} millénaire, se livre à un trafic intense avec la Syrie (on a retrouvé à Biblos, un temple égyptien et des vases au nom de Mykérinos et de ses successeurs), et finit par imposer son protectorat à toute la côte de Phénicie et de la Palestine.

D'après la mythologie grecque, Agénor, roi de Phénicie, père de Cadmos, Phoenix et Cilix partis à la recherche de leur sœur Europe enlevée par Zeus jusqu'en Crète, est frère de Bélios, roi d'Egypte. Ces deux rois étaient fils de Poséidon, dieu de la Méditerranée et de Libye ; la nymphe de Libye.

Les constructions navales et le transport maritime sont bien attestés. Les barques « solaires » de Khéops le certifient. Celle qui a été reconstituée est longue de 43 m et démontre un savoir-faire et une technicité étonnante sur le plan de la structure et de la couture des planches.

Il serait logique que ces bateaux aient été fabriqués en Phénicie même, pour être livrés ensuite en Egypte par la mer.

14.3.2. La roue, fille de l'art du potier.

« Si l'utilisation attestée de la roue (roue de char de guerre) n'apparaît en Egypte que beaucoup plus tard, il est non moins établi que les Egyptiens connurent et utilisèrent la roue dès 2800 av. J.C., c'est-à-dire à la III^{ème} dynastie, sous le règne de Djoser, le pharaon

constructeur de la première pyramide à degrés de Saqqarah », d'après J. Vercoutter dans le Dictionnaire archéologique des techniques. D'ailleurs la tombe de Djoser nous offre un bel exemple de l'utilisation du cylindre monté sur un axe horizontal, en effet les fausses portes simulaient, en partie supérieure, un store d'occultation à enroulement, preuve de la maîtrise de cette technique, à l'époque. D'autres preuves, plus anciennes, attestent de l'utilisation du « store à enroulement », dans des représentations d'anciennes maisons (sarcophage de Rawer).

Une pièce particulièrement intéressante, le Disque en stéatite noire représentant des chiens poursuivant des gazelles qui est conservé au Musée du Caire (Saqqarah, Ière dynastie), atteste de la connaissance du disque, percé d'un trou central, que l'on faisait tourner sur un pivot et qui serait probablement un jeu.

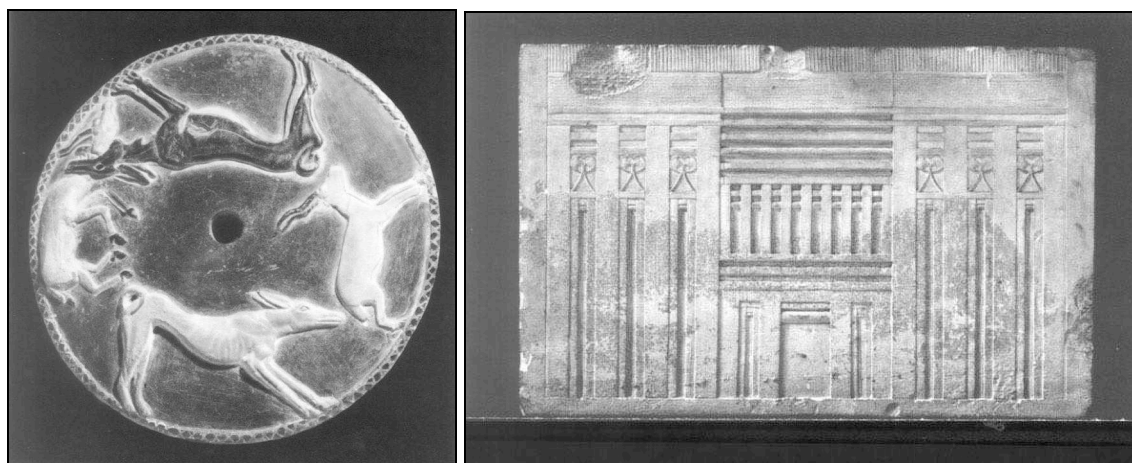


Figure 9. Disque de stéatite et façade de palais (volet à enroulement des fausses portes) (Photo F. Daumas/Arthaud)

Enfin, le vase à décor dit « Gerzéen », datant du milieu du IVème millénaire, outre l'intérêt de son décor (barque à rames), nous offre la preuve de la maîtrise de la technique du tour de potier, par opposition aux poteries modelées, montées au colombin. D'ailleurs Khnoum, le dieu à tête de bélier, divinité créatrice qui remonte à la lointaine préhistoire - sa présence est attestée sur les vases des dynasties thinites, n'a-t-il pas créé l'homme sur son tour de potier.

Parallèlement, la roue - fille de l'art du potier via le tour - a été inventée en Mésopotamie : roue pleine au IVème millénaire et roue à rayon au IIème.

Si la roue en tant que telle n'est pour ainsi dire pas utilisée pour les charges pondéreuses, en Egypte à l'époque qui nous concerne, c'est simplement du fait qu'elle est inutile (non-outil) dans ce pays agricole, inondé chaque année par la crue du Nil, entrecoupé de canaux d'irrigation où tous les transports pondéreux se font essentiellement par voie d'eau.

On peut alors, sans trop de risque, avancer que les bâtisseurs des grandes pyramides possédaient la technologie du rouleau et de la traction en rappel que l'on imagine dans cet « extraordinaire ascenseur oblique » que constitue la Grande Galerie.

14.4. Moyens de calculs

14.4.1. Le ravalement de la pyramide de Khéops

Un rapide calcul, par la méthode cumulative des nombres-sommes permet d'appréhender le temps, le nombre d'ouvriers et la quantité de travail et de déblais, que nécessitera le ravalement final de la pyramide de Khéops. Cette dernière couche, réalisée en calcaire blanc de Tourah, ainsi que le revêtement de péribole - posé à même le sol du plateau après qu'il ait été nivelé le plus possible, malgré les traces de « démisage » que l'on peut voir - le revêtement du péribole ayant en grande partie disparu - représente environ 2 % du volume total de la pyramide (constitué de blocs carrés de deux coudées de côté).

Le volume à enlever au pic et à l'herminette est de $(1,05 \times 0,525 \times 0,70)/2$ soit environ $0,2 \text{ m}^3$ par bloc, travail qui peut être exécuter par une équipe de 2 hommes en 1 journée de travail (y compris le déblaiement des gravas). L'opération de ravalement (« on acheva donc la pyramide en commençant par le sommet » dicit Hérodote) s'exécutera en commençant par le haut où seule une équipe de 2 hommes peut intervenir sur une face (il faudra multiplier notre résultat par les quatre faces), on compte donc :

-	1 ^{er} jour	2 hommes	1 journée de travail	$0,2 \text{ m}^3$ de déblais
-	2 ^{ème} jour	4 hommes	1 journée de travail	$0,4 \text{ m}^3$
-	3 ^{ème} jour	6 hommes	1 journée de travail	$0,6 \text{ m}^3$
-	...			
-	210 ^{ème} jour	420 hommes	1 journée de travail	$42,0 \text{ m}^3$

soit au total par face, selon la formule des nombres-sommes :

$$\sum_{i=1}^n i = n \times (n - 1) / 2 = 210 \times 211 / 2 = 22155 \text{ journées à 2 hommes}$$

soit 44310 journées d'ouvriers (de 2 à 420 hommes sur une face) en 210 jours de chantier.

Pour les quatre faces qui peuvent se réaliser en parallèle, il faut compter : $4 \times 44130 = 177240$ journées d'ouvriers (de 8 à 1680 hommes pour les 4 faces) en 210 jours de chantier, soit moins d'une année de chantier.

Le volume des déblais (de fins et moyens éclats) est alors de :

$$0,2 \text{ m}^3/\text{jour}/2 \text{ hommes} \times 58620 = 11724 \text{ m}^3,$$

soit pour un volume total de la pyramide de Khéops égal à :

$$231 \times 231 \times 147 / 3 = 2\,614\,689 \text{ m}^3,$$

un pourcentage d'environ 0,5 % qu'il va falloir évacuer du périmètre du chantier.

On peut imaginer et organiser une stratégie d'avancement du ravalement afin de ménager des couloirs d'évacuation des déblais dans le but d'éviter l'encombrement des assises inférieures.

La difficulté sera surtout la planimétrie des faces. Elles auront été, bien évidemment, contrôlées à chaque couche-enveloppe. Cependant il va falloir inventer un moyen de visée pour régler les surfaces et les arêtes de la pyramide. On connaît les qualités d'arpenteur des

Anciens Egyptiens, leur maîtrise du cadastre mais là il s'agit de géométrie simple, de l'Art du Géomètre !

On ne peut douter plus longtemps qu'ils connaissaient et mettaient en pratique l'angle droit, que l'on obtient par le fameux triangle « égyptien » dont les cotés font respectivement 3, 4, 5 unités, et ce bien avant - plus de 2000 ans - le théorème de Pythagore (qui apprit, dit-on, les mathématiques des Egyptiens). Faut-il en conclure que les constructeurs des grandes pyramides maîtrisaient la géométrie tel que Euclide la développera par la suite ? Nous ne nous aventurerons pas dans ce domaine, et nous nous tiendrons loin de ceux qui voient dans la pyramide de Khéops, l'utilisation du Nombre d'Or dans ses dimensions externes ou le jeu des racines carrées dans la Chambre du Roi, sans parler de ceux qui cherchent des rapports avec tel ou tel astre ! Laissons leur la paternité de leurs propos, voire de leurs théories, le simple rabattement (physique avant d'être géométrique) et le tracé du double carré suffisent à déterminer l'ensemble de ces rapports et racines !

Il n'y qu'à regarder de près le glacis du revêtement demeuré en place sur le haut de la pyramide de Khephren pour apprécier la qualité du travail de ravalement, de même que sur la pyramide Rhomboïdale à Dachour-Sud.

On observera, sur celle de Khephren, que contrairement aux couches-enveloppes normales, la dernière qui constitue le revêtement, même si elle est faite, semble-t-il ici, des mêmes pierres que le gros œuvre, comporte des pierres angulaires croisées sur les arêtes. Ces pierres angulaires semblent bien, quant à elles, ne pas être de la même provenance n'étant pas de la même couleur. Ceci contredirait-il le principe énoncé et l'ensemble de la modélisation voire le « système constructif » par « accroissement pyramidal » ?

Il semblerait plutôt qu'il y ait eu évolution ou adaptation sur l'enveloppe de Khephren tant il est vrai que la maîtrise des quatre arêtes suffirait à régler l'ensemble des faces et la géométrie définitive de l'ouvrage. Peut-on imaginer que ces arêtes soient construites en premier sur le massif de gros œuvre avant de construire et ravalement les arêtes et les faces ? Ou faut-il trouver une autre façon de construire, de croiser les blocs qui soit propre au ravalement ?

14.4.2. Calcul du nombre d'ouvriers pour la construction de la pyramide de Khéops

Faut-il croire Diodore de Sicile quand il écrit : « *le fait est que 360 000 hommes, dit-on, furent occupés pour servir des travaux et que l'ensemble de la construction fut à peine terminé au bout de 20 ans* », ou Hérodote qui sur le même sujet rapporte les dires des prêtres : « *Cent mille hommes travaillaient à la fois, relevés tous les trois mois.(...) Les dix premières années se passèrent donc à faire la chaussée, ainsi que les chambres souterraines creusées dans la colline sur laquelle sont bâties les pyramides, (...). Il fallut vingt ans pour construire la pyramide elle-même, qui est carrée ...* »

Si l'on admet dix ans de travaux (selon Hérodote) pour la construction de la chaussée montante, du Temple bas dans la plaine alluviale (cote 19) au Temple haut situé sur le plateau (cote 60) (il est d'ailleurs étonnant que Diodore de Sicile, le « rampiste » passe si facilement sous silence le temps de construction de sa rampe !), les deux historiens sont encore éloignés l'un de l'autre, du simple à plus du triple ! Lequel faut-il croire ?

Un premier calcul de moyenne arithmétique, faux bien évidemment, peut néanmoins être

indicatif du rythme des volumes à mettre en place, en comptant 300 jours ouvrables par année sur 20 ans de construction (de la pyramide) soit 6000 jours de travail pour monter 2 600 000 m³ (soit 2 100 000 blocs), nécessitera de mettre en œuvre 433 m³ (soit 350 blocs) par jour. La pyramide ayant 4 faces, quatre équipes peuvent intervenir ensemble, soit 110 m³ chacune par jour. Si on double ces équipes en pensant que deux équipes peuvent intervenir parallèlement sur chaque face, l'une par la droite et l'autre par la gauche, c'est 55 m³ (soit 44 blocs) chacune par journée de travail, soit sur une journée de 8 heures, une cadence de 7 m³ (soit 6 blocs) par heure et par équipe.

Ce rythme (en moyenne arithmétique) semble trop fort ! Il faudrait multiplier le nombre d'équipes par 6 (en moyenne).

En effet un autre type de calcul moyen peut être envisagé qui consiste à estimer le temps nécessaire pour exécuter une manœuvre élémentaire avec la « machine », c'est à dire mettre en place la machine sur l'assise supérieure, poser le bras de levier dessus, accrocher le bloc (déjà harnaché), faire se suspendre le contre-poids mort « vivant » au grand bras (presque en équilibre), compléter et exécuter la manœuvre de levage et de pose (temporaire) sur l'assise supérieure, lâcher la prise du bras de levier, décrocher le bras, pour recommencer ensuite la même manœuvre à l'assise d'après et ainsi de suite... Ce temps peut être estimé à 10 mn environ.

Une autre façon de quantifier le travail (physique) de réalisation d'une pyramide nous est apporté par le produit de la masse (poids) totale de l'ouvrage par la hauteur de son centre de gravité, qui va nous permettre une vérification (de moyenne).

Le centre de gravité G de la pyramide à 4 faces est au 1/4 de la hauteur soit 52,5 assises, il faudra donc $52,5 \times 10 \text{ mn} = 525 \text{ mn}$ pour monter un bloc jusqu'à G, soit 8,75 heures, disons 1 journée pour monter un bloc (en valeur moyenne de travail).

Le total des blocs à monter jusqu'à G est de 2100000 blocs, il faudra donc autant de journées travaillées ce qui implique l'intervention de 350 équipes en parallèle chaque jour (en moyenne). En admettant que les équipes puissent se suivre toutes les heures, c'est à dire toutes les 6 assises et que les 8 chantiers sont ouverts (2 par face), il faudra (en moyenne) travailler sur 6 couches-enveloppes en même temps, pour mener à bien l'ouvrage dans les 20 ans impartis par Hérodote.

Un autre calcul semble donc nécessaire qui mettra en usage les nombres pyramidaux, par enveloppes successives et une stratégie de développement qui intègre la construction du faisceau de plans inclinés construits par anticipation sur la face nord de la pyramide. D'ailleurs une même anticipation peut se réaliser simultanément sur les quatre faces, sans pour autant contenir sur chaque face le même dispositif intérieur (chambres, couloirs et Grande Galerie !) ni même d'autres (?).

Cette stratégie offre le gros avantage de démultiplier les couches-enveloppes qui peuvent se construire en même temps, en progression continue de 1 à 42 pour régresser ensuite.

Au maximum d'efficacité, ce sont $42 \times 8 = 336$ équipes qui travailleront en parallèle sur les quatre faces (en léger décalage), sans compter que sur une même couche-enveloppe les équipes peuvent se suivre à quelques assises d'intervalle (6 d'après notre estimation précédente), pour autant que la manœuvre ascensionnelle de la « machine » soit bien maîtrisée et assurée, pour ne pas mettre en péril la vie des ouvriers en dessous.

Si l'on compte 15 ouvriers par équipe pour servir la « machine » (soit un contrepoids-mort « vivants » de 900 kg), ce sont $350 \times 15 = 5250$ hommes ensemble (en moyenne) sur les assises en construction. Peut-on extrapoler et compter le même nombre d'ouvriers aux carrières et autant encore au transport, soit 16.000 hommes pour servir l'ensemble du chantier y compris l'encadrement.

On est loin des chiffres donnés par Hérodote « *100.000 hommes travaillaient à la fois, relevés tous les trois mois* » ou alors faut-il comprendre autrement ? Il semble néanmoins difficile d'imaginer qu'un tel chantier se déroule linéairement, qu'un même nombre d'ouvriers y soit affecté en permanence. On verrait plutôt ce nombre grossir avec l'édifice (ce qui est juste l'inverse pour les « rampistes »).

Si l'outil arithmétique à base décimal existe bien en Egypte, sous l'Ancien Empire, il est encore purement additionnel et imagé, voire concret. La multiplication et division sont encore (et pour longtemps) inexistantes. Cependant, pour construire selon le procédé « d'accroissement pyramidal » point n'est besoin de compter, de quantifier, il suffira de faire « au bout » : emprunter les matériaux alentour « à la demande » et les mettre en œuvre « au fur et à mesure » et l'ouvrage s'accroît de façon cumulative, sur le tas ! La quantification des matériaux, des ouvriers et des outils, est notre propre problème de vérification, pour les bâtisseurs des pyramides le problème ne se posait pas en terme de temps ou d'argent, ni même d'organisation, mais en terme de pratique ouvrière et donc d'économie d'effort à chaque « manœuvre » et de renouvellement de la force de travail c'est-à-dire de nourriture et de repos journaliers, ce qu'a bien traduit Hérodote quand il dit : « *On a mentionné sur la pyramide, en caractères égyptiens, le montant de la dépense en raiforts, oignons et ail, pour les ouvriers, et, si mes souvenirs sont exacts, d'après l'interprète qui m'a traduit l'inscription la somme s'est élevée à mille six cents talents d'argent.* ». Et d'ajouter : « *s'il en est ainsi, quelle dépense supplémentaire faut-il logiquement envisager pour les outils de fer (sic) et pour la nourriture et le vêtement des ouvriers...* »

« *Outils de fer* » ? Cette assertion vaudra, à Hérodote de n'être pas pris au sérieux, en l'occurrence et à cet endroit, au point de faire prendre son témoignage comme une élucubration de sa part.

Jusqu'à peu, les archéologues refusaient la présence du fer (des outils), il semblerait désormais d'après J.-P. Mohen, que l'existence du fer soit attestée en Egypte et particulièrement au Caire en 2750 av. J.-C.

14.4.3. Conclusion

Une conclusion en forme de synthèse permet de prendre pleinement conscience du niveau technologique des constructeurs des grandes pyramides de l'Ancien Empire : les matériaux sont empruntés au site « à la demande » ; les paysans-ouvriers « manœuvriers » recrutés autant que de besoin, la formation se faisant « sur le tas » ; les « *machines faites de courtes pièces de bois* » sont d'utilisation facile et de fabrication sommaire ; les cordages, les glissières, la traction en rappel, le fractionnement des efforts et leur conjugaison, enfin la subsistance et le repos quotidiens sont régis par l'intérêt de l'ouvrage.

15. ALGORISME OU GEOMETRIE

Qu'y avait-il avant la Géométrie des Grecs ? Quel mode, quelle structure de pensée auront permis la réalisation des pyramides ? Quelles sont les sources des « savoir-faire » mineurs - vernaculaires des ouvrages tumulaires préhistoriques ? Comment la tradition orale a-t-elle pu conserver cette culture ? Comment cette connaissance a-t-elle pu donner naissance à l'écriture et à l'arithmétique ?

Les hommes ont construit bien avant d'écrire et de compter, la construction aurait-elle à voir avec l'émergence et la structuration de l'écriture et des mathématiques ? Cette oralité de pensée correspondant à ces savoir-faire les Ouvrages aurait-elle disparue ou constitue-t-elle le « cœur », le « naos » ou le « pyramidion » de la connaissance ?

Qu'en reste-t-il ? Où ? Comment y accéder ? En construisant ! Peut-être ?

Pour nous éclairer dans ce questionnement, nous proposons une lecture de l'ouvrage de Michel Serres intitulé « Les origines de la géométrie » (Serres, 1993).

Le propos de Serres, du moins dans la partie qui concerne directement la distinction et l'apparition de la géométrie pré-hellénique, sera de se questionner sur la continuité ou rupture à partir du mode de pensée antérieur, qui caractérisent Babylone et l'Egypte.

Nous nous permettrons de citer et d'annoter différents morceaux choisis de ce texte, invitant cependant le lecteur à se référer à l'ouvrage, tant il est délicat d'extraire des propos de leur contexte. Cependant, ces morceaux choisis nous intéressent et le rapport avec la construction nous a semblé utile d'y être ajouté, pour faire entrevoir, approcher voire toucher concrètement la pensée algorithmique que constitue le « système constructif des pyramides », connaissance première issue de la construction, pas à pas, du premier terre, du premier tas de charge.

15.1. La construction serait-elle mère des mathématiques et l'Egypte le berceau ?

(p 132) « *L'ancienne science comme ensemble de tables et la nouvelle comme traitement des possibles.*

La géométrie venait, peut-être, des techniques de construction, de l'architecte, du maçon et du tailleur de pierre, elle leur rend ici tout ce qu'elle leur avait pris. D'où son blocage dans l'espace, par perte des moyens d'exécuter suivant le temps. Les techniques avaient tellement besoin de temps que l'histoire, à l'inverse, peut assez bien se comprendre par l'innovation technicienne. »

La construction du temple grec archaïque, péristyle entourant le mégaron, composé de colonnes monolithiques, à l'instar des premiers temples égyptiens, avant la décomposition par tambours, mettra en oeuvre des techniques de levage nécessaire au relevage: la chèvre à relevage, véritable pratique et outil de géométrie effectuant un "rabattement" du plan horizontal à la verticale, en vraie grandeur.

Dès lors que le fût de colonne ou l'obélisque sont monolithiques, le rabattement géométrique est nécessairement appliqué. De la même façon - avec la chèvre ou bigue - on mettra en

œuvre architraves et dallage de couverture ; il n'est pas besoin d'avoir recours à l'hypothétique solution du remplissage en sable ou terre que l'on propose habituellement.

(p 167) « *ECRIRE : la page égyptienne.*

... Aristote écrit que l'Egypte fut le berceau des mathématiques ; Démocrite place volontiers ses démonstrations rigoureuses au-dessus de l'art des harpédonaptes ; le Timée fait dialoguer Solon avec un vieux prêtre égyptien ; Hérodote raconte les partages agraires de Sésostris et l'importation en Grèce de la géométrie; Diogène Laërce, Plutarque rapportent que Thalès mesura la grande pyramide... En bloc, ce corpus des sources du miracle grec, montre, au moins, une concordance : la mise en rapport de la Grèce et de l'Egypte. Déjà vivace dans l'Antiquité, une discussion traditionnelle, jusqu'à nos jours, reprise de Montucla et Bailly, au dix-huitième et au dix-neuvième siècle, quand les hiéroglyphes furent déchiffrés, oppose ces deux lieux de naissance. La géométrie naît-elle dans la vallée du Nil ou sur les bords de la mer Ionienne? Coupure ou legs ?... »

(p 171) « *Traduction.*

De fait, une culture en rencontre une autre, un système en trouve un autre, une signalétique se heurte avec une autre, la plus opposée. Tous dialoguent, chacun dans sa langue. Il faut traduire. Cette traduction nous devons l'appeler géométrie ».

Ici, une culture en avale une autre, voracement, comme Zeus avalera Métis, la sagesse, la finesse, sa première femme, mère d'Athéna ! La première a nourri la seconde, l'a générée, l'a mise au monde.

« Précisons. Egyptiens et Grecs parlent entre eux de science : [qu'est-ce que les grecs apportent dans la discussion, le dialogue, la dialectique, quelle est leur propre science alors ?] de l'ancienne et de la nouvelle, de celle que le temps a blanchi, de celle qui éclôt si présentement que l'archaïque juge que les Grecs sont tous des enfants. Une science traditionnelle gît dans la vallée du Nil, tout un savoir mémorisé, dormant sur papyrus.

Les hiéroglyphes exhibent l'objet, le montrent. Les cursives hiératique, démotique, l'enfouissent. Voici l'oiseau, le bœuf, le vase et la maison. Au lieu de transmettre des objets, comme il semble avéré qu'on le faisait jadis, on transmet la reproduction graphique de ces objet, leur schéma fidèle.

La légende de Thalès, passant de Chéops au hiéroglyphe prismatique, par reproduction ou projection planaire, marque un stade fort dans l'évolution des moyens de communiquer.

Le dessin du vase le désigne et communique, en outre, sa forme et sa taille. Par l'écriture alphabétique des quatre lettres du mot vase, le graphe perd les taille et forme de l'objet, de sorte qu'il faut trouver une langue nouvelle pour communiquer cette information, pour dire le rapport du tracé sur le sable et du tombeau debout, le rapport du hiéroglyphe et de l'objet représenté, rapport patent et muet dans le dessin logographique...

...Or, le théorème de Thalès désigne, tout justement, ce que dit le mot écrit : la classe des formes semblables de toutes tailles. »

Communiquer sur quelque chose suppose que ce quelque chose pré-existe, communiquer n'est pas faire, n'est pas construire. Thalès géométrise sur la pyramide. Il est déjà le premier à

avouer ainsi être incapable de la comprendre dans son essence, incapable de la réaliser. Thalès l'accoucheur de la géométrie grecque qui, dominante, étouffera la science constructive égyptienne, en est de fait le fossoyeur. Était-ce volontaire, délibéré ? Certes non, il est là « en observateur » qui regarde, sans chercher même à comprendre la construction. Il tourne autour, se pose des questions sur la hauteur de la pyramide et trouve un moyen « facile », pas fatigant, de le faire. Et ça lui suffit ! Mais cette géométrie est creuse, vide, graphique, sans matière, abstraite. On regarde, on s'amuse à comprendre le jeu des formes, à l'ombre, mais on ne fait pas, on ne fabrique pas, on n'œuvre pas.

De quoi en plus, au niveau de la technicité constructive, peut se prévaloir un temple grec vis à vis d'un temple égyptien ? Qu'est-ce que le mégaron apporte de nouveau, et la colonnade périphérique, d'une simplicité rétrograde par rapport à la salle hypostyle d'un temple égyptien, antérieur de plusieurs siècles ? Du point de vue architectural, il s'agit bien d'un recul technique.

15.2. Etudier n'est pas faire comme dessiner n'est pas construire

(p 173) « *Source*

Solon, Thalès, arrivent en Egypte : un système quasi algébrique entre en court-circuit avec un système proto-géométrique. Un discours rencontre une image. Un formalisme découvre une forme. Une convention vient au contact d'une intuition...

Qu'est-ce que la géométrie ? Oui, le discours d'un dessin.

De quoi faut-il rendre compte ? De l'émergence de l'abstrait. Non du métrique exact, mais du pur. »

La construction d'une pyramide se situe bien avant le discours, avant le dessin, avant l'écriture et la lecture. Elle se situe dans la fabrication, la construction, le « fabriquer », le faire, l'acte, le « generis », ensuite. Une fois construite les observateurs extérieurs auront tout loisir d'écrire, de décrire, de représenter, d'en discourir, d'enfin « géométriser » !

Et pour cette construction, il n'est nullement besoin de la proto-géométrie de Thalès, la preuve en est que la pyramide de Khéops précède la naissance de la géométrie de 20 siècles ! La pyramide relève donc d'un savoir antérieur à la géométrie des Grecs, savoir qu'ils ne réussiront jamais à percer !

(p 204) « *Vol*

Pour sortir du dédale, il n'existe donc que deux solutions : ou le fil d'Ariane ou le vol vertical. La première met en scène la pensée algorithmique, à venir ci-après dans ce livre, la deuxième l'invention de la géométrie ».

Michel Serres propose alors une première bifurcation, fondamentale, de la naissance de la géométrie, dans la façon d'appréhender le monde environnant. Cependant la verticalité, construite de main d'homme, existe depuis longtemps déjà dans la construction des tertres, tumulus, ziggourats et pyramides. La vision géométrique arrive une fois les archétypes réalisés par la pensée précédente.

(p 204) « *Origine architecturale.*

La taille et la disposition des pierres supposent donc le théorème : [pas nécessairement, simplement un savoir-faire empirique, traditionnel] pratiques aveugles à un tel savoir ou application d'un concept clairement explicite, voilà une vraie question. »

(p 204) « *Dans les techniques, l'origine des sciences.*

Quel est le savoir implicite à une technique ?

Celle-ci se réduit-elle à une pratique enveloppant une théorie ? Toute la question - ici celle d'origine - se résume en une interrogation sur la modalité de cet enveloppement. Les mathématiques émergent parfois de certaines techniques : en explicitant un savoir implicite ? Que l'on trouve souvent un secret dans les traditions artisanales, cela signifie souvent qu'il reste un secret pour tous, y compris pour le maître ou pour l'inventeur.

Qu'un savoir clair se cache dans les mains et dans la relation ouvrière aux pierres et aux moellons, et il peut y rester enfermé, verrouillé à double tour, comme dans l'ombre de la pyramide. »

(p 205) « *L'ombre du secret.*

Contemplant ce primordial théâtre du savoir, la mise en scène ou le récit de l'origine : le secret du constructeur et du tailleur de pierres, noir pour eux, pour Thalès et pour nous, se cache dans l'ombre : sous l'ombre portée des pyramides, immenses boîtes noires, Thalès se place dans l'implicite d'un savoir, que le Soleil, derrière, explicite [le soleil n'explicite pas le mode constructif, ce savoir-faire !]

Toute la question du rapport entre le schéma et l'histoire, entre le savoir implicite et la pratique ouvrière se pose en termes de Soleil et d'obscurité, comme dramatisée à la mode platonicienne : l'astre éblouissant de la connaissance et du même luit, pendant que s'éteignent l'opinion, les métiers empiriques, les objets du monde, dans cette ombre.

L'origine du savoir à partir d'une pratique reste du côté de l'ombre, alors que l'origine d'une pratique à partir du savoir vient du côté de la lumière.

L'ombre montre des plis où gît la science cachée. L'activité technique d'origine met le savoir à l'ombre, et nous-mêmes y restons, aveugles, aussi bien comme agissant, qu'en tant que nous cherchons à placer la théorie dans la lumière. »

Ce n'est pas une théorie mais une pratique, pour comprendre et avancer, pas à pas sur le chemin du savoir empirique. Encore faut-il se situer, être du côté de la pratique et se re-mettre dans les conditions de devoir faire pour retrouver les réflexes, les outils, les manœuvres, les hommes, les machines, les objets, le concret, les raisonnements, les méthodes, le procédé. Il s'agit bien d'un mode de faire par ré-itération, répétition, addition, récurrence, par un geste machinal, systématique, automatique. Il serait cependant réducteur et osé de penser que la forme ainsi créée « de l'intérieur » ne fut pas vue et constatée, en même temps, « de l'extérieur ».

Dès le premier pyramidion central construit (une pierre sur quatre pierres) qui se dresse déjà comme le « gnomon », la verticalité de l'axe est assurée, ainsi que la stabilité, la règle

constructive est posée qui fait s'accroître la pyramide « en pelure d'oignon » par l'application de l'algorithme élémentaire : une pierre sur deux autres, décalée « en encorbellement » pour offrir « l'entablement ». Le concept induit par la réalisation des enveloppes emboîtées les unes sur les autres, dès le premier tertre, constitue une « vision d'émergence », de création et d'accroissement qui, à notre avis, implique l'homothétie vue de façon « interne » et/ou « externe », longtemps avant la venue de Thalès.

(p 206) « *En cette légende primordiale, la géométrie de Thalès exprime donc le rapport entre deux aveuglements, entre la pratique noire et son sujet plongé dans la cécité. Elle le dit et mesure le problème, mais ne le résout pas, dramatise son concept, mais ne l'explique pas, désigne admirablement la question sans y répondre, raconte le rapport de deux chiffres, celui du maçon et celui de l'édifice, sans les décrypter chacun ; et peut-être ne peut-on jamais que faire cela, si l'on en reste au logos.* »

« Plus de miracle originaire : les techniques s'engendrent et se perpétuent dans la répétition (la tradition qui englobe et génère l'évolution !) la mesure voit le théorème autrement que l'architecture, voilà tout. Et nous demeurons dans la grande ombre du secret. Car, de nouveau, on ne saurait penser l'origine de la technique, sauf l'origine de l'homme même, faber dès son émergence ou mieux, émergent parce que faber.

... (la pré-géométrie de Thalès) ... elle prend rang dans la chaîne ouverte de ces dires et de ces désignations, mais elle ne donne pas la clé du chiffre, ne fouille pas dans l'articulation secrète du savoir et de la pratique où se trouverait l'essentiel d'une possible origine.

... cette géométrie archaïque mesure le problème, en prend les dimensions, le pose, le pèse, le fait voir, le rapporte, mais ne le résout pas. »

Ce n'est donc pas avec les outils de la géométrie qu'on peut éclairer le secret. Ce n'est pas dans la lumière qu'il faut chercher. Mais telle la blague vaudoise, c'est dans l'ombre qu'il faut chercher la clé, là où elle a été perdue, et non dans la partie éclairée où elle ne peut se trouver, puisqu'elle a été perdue avant, enfouie sous les nouveaux matériaux de la nouvelle science, sous la belle transparence du vide !

15.3. Jeux d'ombres et de lumières

(p 209) « *Histoire de l'appliqué*

Que Descartes intervienne, puis Monge et tant d'autres, ils travaillent encore et encore du côté de l'application en même temps que de la représentation, en perpétuant l'habileté des ingénieurs, font survivre donc l'archaïsme des pré-mathématiques et bloquent la naissance de ladite science dans sa pureté... Le récit rapporté par Thalès décrit une métrique, mais ne raconte pas la naissance des mathématiques.

A preuve Platon, qui demande autre chose pour que s'accomplisse le miracle : la réalité essentielle des idéations. Question : comment peut naître la pyramide elle-même comme forme idéale ? »

(p 210) « *Les entrailles noires des volumes.*

Platon refoule au fond de la caverne la scène de Thalès : le volume écrit l'ombre portée sur une paroi plane et claire, la lumière décrit sur le solide son ombre propre. Le savoir se limite aux deux ombres, voilà l'ombre du savoir.

Mais en voici une troisième, dont les deux autres traduisent l'image ou la projection, secret profond enfoui dans les entrailles du volume.

Sans doute, le vrai savoir des choses du monde gît dans l'ombre essentielle des solides, dans leur compacité opaque et noire, verrouillé à jamais derrière les multiples portes de leurs bords, seuls attaqués par la pratique et par la théorie. (la théorie n'a rien donné depuis 25 siècle, alors qu'il eut fallu recourir à la pratique). La taille peut faire éclater la pierre et la géométrie diviser ou dupliquer le cube, voici que les solides, non épuisables par l'analyse de leurs faces, conservent toujours, à l'abri, un noyau d'ombre à l'ombre de leurs bords : il faut recommencer. »

Non ! Il faut remonter au noyau premier, noyau du noyau du noyau. C'est à l'image d'un oignon, le germe est au centre ! Et là, en sens inverse, découvrir la méthode qui génère la construction, le « système constructif ».

« D'où l'on revient à la taille des pierres et de la pyramide. Volume de volumes, polyèdre composé de moellons découpés, voici l'édifice. Or, d'un solide tel, comment prendre connaissance sinon par projection planaire ? Et comment le prendre en main sinon en attaquant ses faces ? »

Il y a une autre vision, une vision globale « volumique », non planaire mais structurelle, générique, cinématique : comme le point qui se déplace génère la ligne, la ligne génère la surface, la surface le volume. L'architecte maîtrise la géométrie et se fabrique par les projections (en plan, en coupe, en élévation) une vision dans l'espace qui lui est propre. Mais ce qui n'est pas tout à fait la même chose que la vision « volumique » : l'une projette une chose telle qu'elle sera, l'autre la voit en train de se faire, s'appréhende dans le « faire », et donc en voit le cœur palpitant, la dynamique, le « générique » ou le cinématique, voire la cinétique du grossissement volumique. La question et la réponse sont contenues dans cette formule lapidaire : « Comment faire une grande pyramide ? En commençant par une petite ! »

(p 210) *« La géométrie de Thalès dit cela, et le dit en même temps que la technique architecturale [?] et la pratique du maçon [???]. Il s'agit, dans les trois cas, de traiter un solide par réunion de toutes les informations recueillies sur les divers plans qui peuvent en parler [d'où les limites de la synthèse informative vis à vis d'un acte] : secrets des ombres propres et des ombres portées. Un volume s'exprime par ses projections, qui supposent un point de vue et un dessin sur une surface lisse, elle-même sans ombre propre et sans repli caché. Mais, lisant et relevant ces traces du volume, Thalès ne déchiffre nul secret sinon celui de l'impuissance à pénétrer les arcanes du solide, dont le fermé s'abrite indéfiniment derrière l'ouvert nécessaire à toute information, [l'information tue l'appréhension, la compréhension, il ne faut pas se servir de ses sens] où le savoir est à jamais enseveli, d'où l'histoire infinie des progrès analytiques jaillit comme une source.*

... La chose existe comme telle, inconnue et corrélat, secret involué en plis et répliques par essence inaccessibles, puisque l'explication déplie et donc laisse, derrière la face de l'ouvert, le fermé plié sur soit.

Ou je reconnais l'objet aux deux ombres [c'est un sujet, non un objet], propre et portée ; ou

j'admets un troisième noyau d'ombre en son sein : alors théorie et pratique développent infiniment ce secret dans une histoire toujours ouverte, celle de la science, qui admet que toutes choses implique toujours de l'explicable. »

Il suffira de continuer à déplier, à éplucher les noyaux, les uns après les autres, pour, pas à pas, entrevoir le cœur, à la lueur inverse du processus cumulatif algorithmique, de l'accroissement pyramidal.

(p 211) « *Fiat lux.*

Alors, l'histoire commencée, ce dit-on, dans le delta du Nil se boucle par un coup de foudre d'une incroyable audace : la négation radicale de ces ombres intérieures.

Dehors, le nouveau Soleil émet une lumière transcendante qui transperce les choses et transmet une vision passe-muraille. Voici que s'accomplit le miracle merveilleux : la transparence des volumes, appellation métaphorique du réalisme des idéalités. »

La lecture géométrique transperce les volumes, voit au travers des corps qui sont alors comme transparents, où il ne reste que les lignes, squelette du volume plein. Mais par ce mode de vision, la géométrie a vidé le volume de sa matière, de sa chair et de son sang, le corps est mort quand le volume devient géométrie. Et, alors, il ne reste que la forme à voir et à contempler, mais rien ne permet ou n'aide à comprendre du mode de faire, du processus de construction, du savoir générer la pyramide. Au contraire, la transparence des volumes qui fait la géométrie, dans son image vide en « fil de fer » opacifie encore plus l'incompréhension car elle fixe la réflexion sur la forme, la forme qui n'est que l'aboutissement du processus de construction et non pas le principe. De l'incompréhension par perte du savoir-faire issu de la pratique, on passe au secret par l'observation géométrique, qui se verrouille de lui même par la piètre transmission orale du bouche à oreille déconnecté de l'expérience matérielle et ouvrière, pour aboutir à créer le mystère, imbécile aimant, si propice à la description par l'écriture et la littérature désormais à la portée de tous.

Cette perte du savoir-faire correspond à l'évolution du mode de transmission, de communication entre les hommes. Il est des choses qu'il faut faire ensemble, qui se transmettent de celui qui sait, qui connaît, par la pratique, dans ou grâce à la pratique et pas autrement : il faut y mettre la main, le cœur, l'esprit, ensemble.

La géométrie observe la forme et du jeu des formes, architecture, « *jeu correct et magnifique des formes sous la lumière* » disait Le Corbusier. Thalès a hérité des pyramides d'Egypte et les a étudiées dans la vision formelle de la géométrie, sans les connaître, sans en rechercher le savoir-faire, comme un enfant qui mange un gâteau sans savoir le faire, sans en avoir la moindre idée, la moindre envie, le moindre besoin. Bien nourri, il n'a qu'à consommer. En cuisine aussi il est un autre savoir que consommer.

15.4. Vous avez dit « gnomon » ?

(p 238) « *Machine et mémoire*

Nous traduisons mal le mot “gnomon” parce que la connaissance scintille à la pointe de son axe. Littéralement, il signifie, sous une forme apparemment active : qui discerne et règle, mais

désigne toujours un objet...Thomas L. Heath le décrit comme “une chose permettant à quelque chose d’être connu, observé ou vérifié”. Le voisinage de ces deux choses ou leur répétition a du sens : elles ont un rapport entre elles, toutes seules.

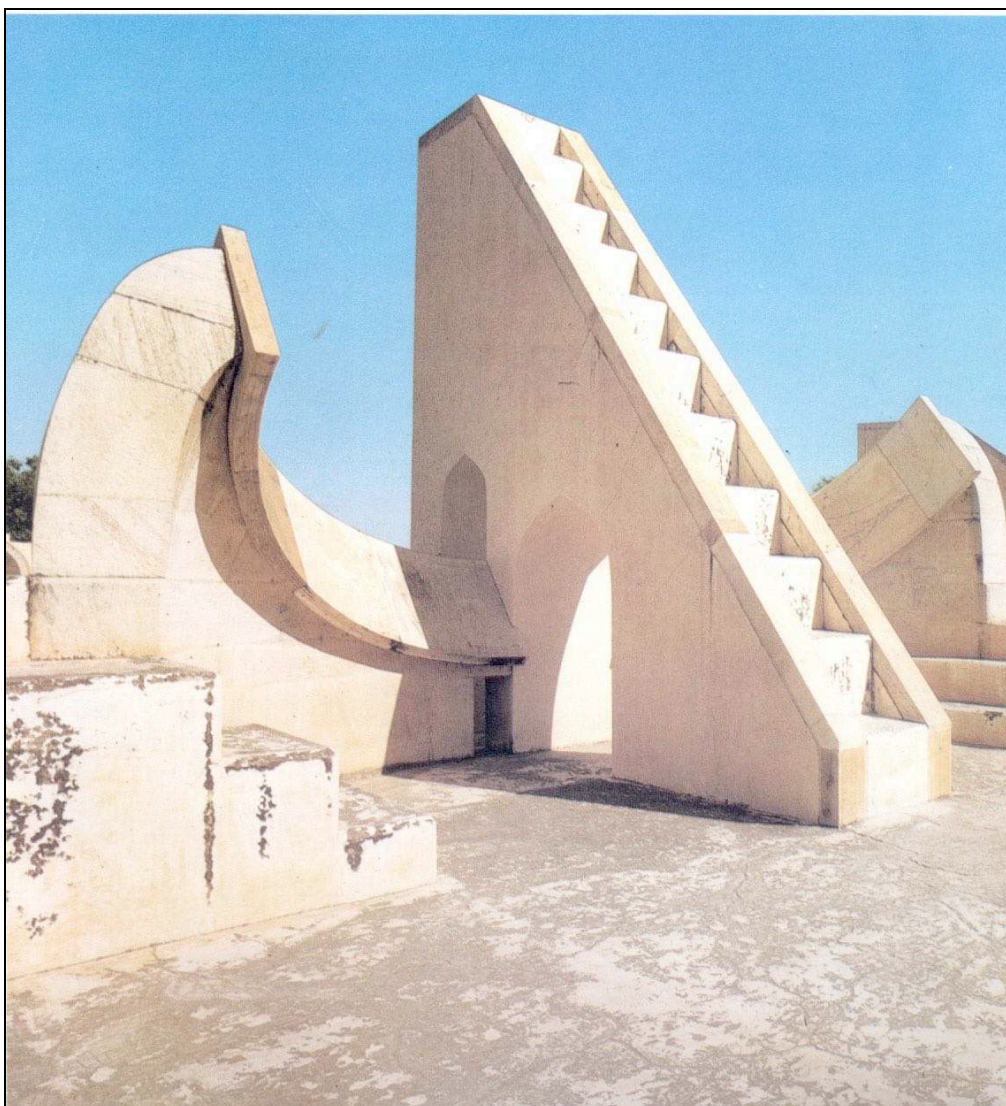


Figure 1. Le grand gnomon de l'observatoire de Jaipur (Inde)

... l'expression “à la manière de gnomon” exprimait, chez les Grecs archaïques, l'angle droit ou le fil à plomb. (la notion de verticalité, de sa création-construction!) Du coup, nous pourrions presque le traduire par règle ou équerre, d'autant qu'Euclide, au lieu indiqué, appelle ainsi les aires des parallélogrammes complémentaires d'un parallélogramme donné, de sorte que leur addition ou soustraction les laissent ensemble semblables entre eux. Ainsi, une équerre montre deux rectangles ou deux carrés complémentaires d'un carré ou d'un rectangle donné : le mot français lui-même semble signifier l'extraction d'un carré ou cadran. »

« Dans la science de Babylone, bien avant la scène astronomique de Thalès, co-existent, de même, procédures de calcul et tables de mesures. Autrement dit et plus généralement une pensée algorithmique montre toujours deux composantes, l'une qu'on peut dire machinale et l'autre qu'on doit appeler mnémorique : récapitulation des résultats des procédures machinales ou conditions de leur reconduction ; l'automate et les tables ou les dictionnaires :

matériel et logiciels. »

« Deux mathématiques ?

Voici donc une épistémè différente , de nature algorithmique. Efficace et présente chez les Egyptiens et les Babyloniens, elle coexiste en Grèce ancienne avec la nouvelle géométrie, quoique dissimulée sous sa transparence. Quand Socrate dialoguera avec le petit esclave, dans le Ménon, les deux sciences s'affronteront, l'une active, l'autre oubliée, méprisée ; osons le dire : esclavagisée!

Ainsi cachée par la mathématique officielle, hellène de tradition, l'autre va perdurer, féconde, pendant de nombreux siècles, avant d'acquérir, de nos jours, un statut parallèle à celui de la première.

... Autre exemple : quoi de plus illustre que la distinction que Pascal proposa, au dix-septième siècle, entre l'esprit de géométrie et celui de la finesse. La comprenons-nous vraiment, la dominait-il lui-même.

...Existerait-il donc deux mathématiques, la seconde, locale et rapide, se moquant de la première et s'accommodant de la finesse? Philosophe, Pascal parle-t-il d'une science différente de celle du mathématicien?

Ce décalage traduit-il le mépris constant que les géomètres, à partir des Grecs, en passant par le Moyen Age, jusqu'à Descartes lui-même, pour ces pratiques tout justes bonnes pour les marchands, et qu'on appelait, selon, logistique et algorisme ? Comptez toujours, semblaient-ils dire, nous, au moins, nous démontrons, dans l'abstraction !

L'esprit de géométrie naît-il en Asie Mineure de langue hellénique avec des figures pures et les démonstrations en forme qui les accompagnent et suppose-t-il une cohérence déductive qui se rit et se sépare des manipulations opératoires courantes qui le précèdent, en Egypte et à Babylone, et qui, elles, carrent et cubent, toutes préoccupées de métrologie et la construisant pas à pas.

La pensée algorithmique et ses finesesses, calculs ramassés en formules aveugles, formelles, locales, rapides, aussi abstraites, quoi qu'on dise, que les idéalités suivantes, émergent-elles bien avant la géométrie, que nous prenons pour la seule mathématique en raison de la philosophie grecque, dont l'immense coulée lui a servi à la fois de métalangage et de publicité, refusant et refoulant sa devancière et la faisant oublier , le célèbre algorithme d'Euclide troue les Eléments et, par cette fenêtre, nous passons la tête pour apercevoir une origine que nous cache la gigantesque construction hellénique.

Ainsi la célèbre distinction pascalienne opposerait à la grande tradition issue de Thalès pour aller jusqu'à Descartes ou quelque autre, la petite et modeste mémoire de cette première aube calculatrice, venue d'Egypte et de Babylone, transmise par les marchands autour de la Méditerranée, anamnèse longue de l'esclave du Ménon, que Pascal reprend dans son triangle et sa machine : celle des algorithmes.

... Et si le dix-septième siècle nous montrait une situation intellectuelle exactement symétrique de la situation grecque? L'une refoule les algorithmes pour susciter la géométrie, l'autre tente d'oublier celle-ci pour inventer ceux-là.

Pascal, Newton, Leibniz inventent au même moment le calcul infinitésimal. Comment le définir à l'état naissant? Très mal ou pas du tout, si on veut le fonder ou l'axiomatiser : l'esprit de géométrie s'y dépense et s'y use en pure perte; excellemment au contraire, si on le considère comme un algorithme. Géomètre grec, appartenant à l'ancienne période, Descartes le refuse en cet esprit, les trois autres le découvrent par finesse. Local, rapide, aisé, formel, aveugle, il marche très bien, carre, cube, mesure, tout préoccupé de métrologie, désigne les centre de gravité, utilise les séries, paraît domestiquer l'infini, se sert de procédures pas à pas et se disperse en mille petits problèmes : isochrone, chaînette, rhombes, brachystochrone, maxima et minima, enveloppes, caustiques... »

« Deux pensées aujourd'hui conciliées ?

Encore plus généralement, pouvons-nous concevoir deux mathématiques ? J'imagine la première née sur les bord de l'Euphrate ou du Nil, où les scribes et calculateur connaissent et pratiquent la pensée algorithmique, alors que la seconde paraît sur les rivages d'Ionie ou dans l'île de Samos avec des figures pures et les rigueurs de la démonstration.

Ces deux fleuves courent le long de l'histoire sans beaucoup se mélanger, aussi peu que les Sémites, à la source du premier, avec les Indo-Européens, plutôt inventeur du deuxième; faut-il, de nouveau, voir là une autre manière d'opposer une iconoclastie réfugiée dans les signes et les codes, là numériques et arithmétiques, à l'iconophilie au travail sur les images, ici, de géométrie ? »

On remarquera que cette forme de pensée algorithmique, antérieure et préalable à l'esprit de géométrie, partagée par Babylone et l'Egypte, ces deux cultures archaïques, correspond aux deux peuples qui ont construit ici les ziggourats, là les pyramides, dont la racine (SKR) nous semble signifier « s'accroître » avant même de signifier « sacré ».

On peut même aller jusqu'à conjecturer que seul ce mode de pensée algorithmique permet de comprendre le mode d'accroissement de ces ouvrages, mode de pensée né de l'algorithme de construction et de sa répétition. Pour le moins, en ce qui nous concerne, nous avons démontré que nous pouvons construire une pyramide en utilisant ce mode de faire algorithmique, véritable « système constructif des (grandes) pyramides (lisses) », et que le texte d'Hérodote contient la description de ce savoir-faire.

15.5. Gnomon, comme c'est bizarre !

« Retour au gnomon et à l'origine pragmatique ou artificielle

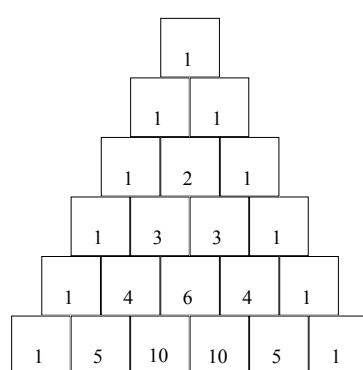
Euclide, lui encore, appelle gnomon ce complément coudé d'un carré que les charpentiers nomment communément une équerre, mot de statique et de métier qui décrit à merveille l'extraction d'un carré au beau milieu de son angle droit en creux.

... On comprendra l'arithmétique géométrique des pythagoriciens lorsqu'on saura qu'ils appelaient de même le complément exprimé en nombres impairs des nombres carrés successifs. Loin d'écrire comme nous cette situation :

$$1^2 + 3 = 2^2 ; 2^2 + 5 = 3^2 ; 3^2 + 7 = 4^2 ; n^2 + (2n + 1) = (n + 1)^2$$

ils la dessinaient comme un simplexe ou des étoiles dans le ciel, graphe qui reproduit, sans différence notable, la définition d'Euclide : les nombres impairs font l'équerre autour du carré intérieur et reproduisent avec lui, indéfiniment, un carré extérieur, évidemment semblable au premier. Avec des schémas où l'angle droit fléchit, on peut ainsi produire des nombres triangulaires, pentagonaux...en général polygonaux. Théon de Smyrne les appelle nombres gnomiques. Nous accédons par ces procédures à des dispositions, sans doute archaïques, mais qui annoncent aussi le triangle de Pascal, cet algorithme tantôt décrit. »

Faisons remarquer au passage que le « meruprastara » (développement en pyramides) des Indiens védiques attesté dès le Xème siècle n'est autre que la version indienne du triangle arithmétique qui sera repris par Pascal au dix-septième siècle et que l'on trouve aussi en Chine en 1303 sous la plume du mathématicien Chu Shih-Chieh.



MERUPRASTARA VEDIQUE

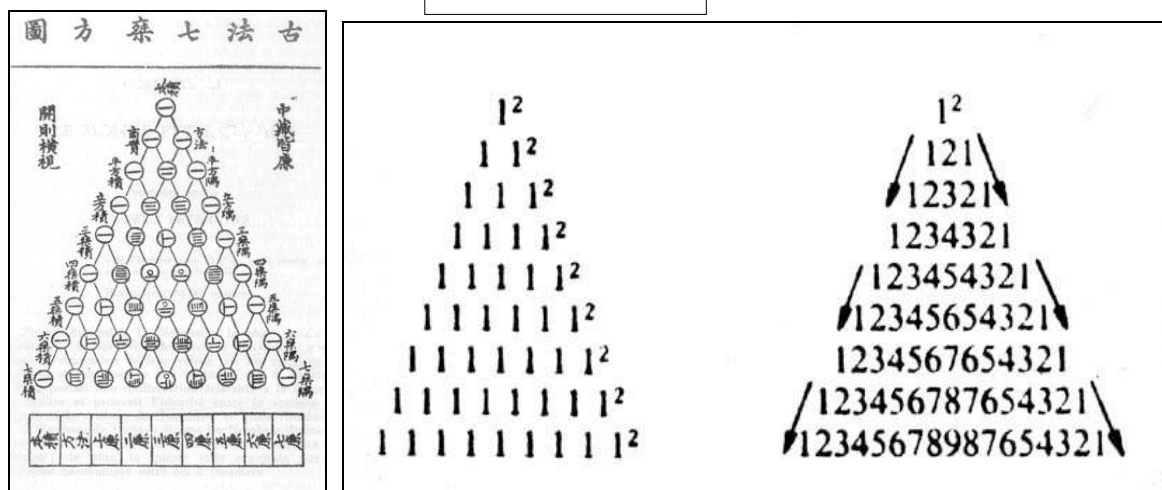


Figure 2. Meruprastara védique, triangles de Pascal (de Chu Shih-Chieh) et de Ibn al Banna. (d'après G. Jouven / Dervy)

Citons l'Encyclopédie Universelle au chapitre « INDE - Les sciences » :

« Les traités de métrique annexés aux Veda enseignaient que dans un vers de 3 syllabes il y a 8 mètres différents possibles: aaa, aab, aba, baa, abb, bab, bba, bbb; que dans un vers de 4 syllabes il y a 16 mètres possibles: aaaa, aaab, aaba, ..., bbbb; etc. Nous savons depuis Newton que les combinaisons possibles entre longues [a] et brèves [b] dans un vers de n

syllabes sont au nombre de 2^n et se distribuent dans l'ordre des coefficients du binôme $(a + b)^n$. Les métriciens indiens sont intuitivement parvenus à calculer les divers coefficients de la puissance n du binôme en utilisant un triangle arithmétique ou en sankrit meruprastara, «développement en pyramide», que Halayudha (X^e s.), dans son commentaire aux Chandahsutra ou «Aphorismes sur la métrique» de Pingala (chap. VIII, vers 34), décrit de la façon suivante. Au sommet on dessine un carré, puis deux carrés au deuxième étage en partant du haut, accolés l'un à l'autre et débordant chacun de moitié de part et d'autre, et l'on descend en ajoutant un carré par étage, 3 carrés au 3^e, 4 carrés au 4^e et ainsi de suite, jusqu'à ce que la base de la pyramide contienne un carré de plus que le nombre de syllabes dans le vers qu'on étudie. On inscrit le nombre 1 dans le carré du sommet, les deux carrés du deuxième étage et les deux carrés placés aux extrémités de tous les étages inférieurs. Dans chacun des carrés intérieurs, on marque la somme des nombres inscrits dans les deux carrés qui le chevauchent à l'étage immédiatement supérieur (fig. 1). »

Et M. Serres de poursuivre :

« ... Le gnomon se définit comme une loi de construction, comme la règle d'une suite ou son engendrement. Règle automatique, marchant toute seule ... »

Anaximandre (VI^{ème} siècle av.JC), sans doute élève de Thalès, à qui on attribue une place importante à l'origine des techniques, des sciences et de la philosophie, aurait introduit en Grèce le « *gnomon* », règle dressée ou « triangle », dont l'ombre portée sur un cadran permet de repérer l'heure solaire; il aurait su repérer la position et les intervalles de solstices et des équinoxes. Cependant, avant même cette date, en Inde, le gnomon fut le premier instrument d'observation utilisé pour fixer les points cardinaux comme l'enseignaient les Sulbasûtra (« les Aphorismes sur les cordes »), règles édictées pour la construction des autels védiques.

Faut-il rappeler que le terme de « *bomides* », choisi par Hérodote pour traduire l'explication des prêtres égyptiens du mode de construction (algorithmique) de la Grande Pyramide, a pour racine « *bomos* » qui signifie « autel ».

Mèdes et Perses, au temps des guerres médiques auraient-ils véhiculé cette connaissance gnomique, de construction de l'axe du monde, ce meru védique ; ou bien la propagation s'est-elle produite dans l'autre sens ?

« ... Appeler donc d'un nom identique, exprimant la connaissance, trois automatismes, celui du piquet dressé (exhaussement vertical) vers le Soleil, celui de l'équerre ou de la bande latérale qu'on ajoute ou retranche (accrétion en pied) et celui de l'opération dont le retour itéré construit des séries de nombres (accroissement pyramidal algorithmique), nous ramène à l'intelligence artificielle. »

Ces trois significations du même terme « gnomon » recouvreraient-elles, en fait, une même notion, la même connaissance ?

Quand « gnomon » en Inde signifie « triangle » et non-pas « *piquet ou style dressé vers le soleil* », il faut le considérer comme un édifice triangulaire qui, à l'image des nombres triangulaires considérés comme « sacrés » par Pythagore, se construit par degrés. Le schéma premier (figure suivante), généré par l'algorithme « d'accrétion-exhaussement » (les carrés étant superposés et non-pas à rupture de joint) « en créneau formant escalier » en est l'illustration. C'est le moyen le plus primitif de construire en hauteur, au-delà des limites anthropométriques, un édifice plat triangulaire dressé vers le Soleil dont l'ombre portée (pour

autant qu'il soit correctement implanté, c'est-à-dire Nord-Sud) indiquera alors la latitude du lieu, équinoxes et solstices et l'heure solaire

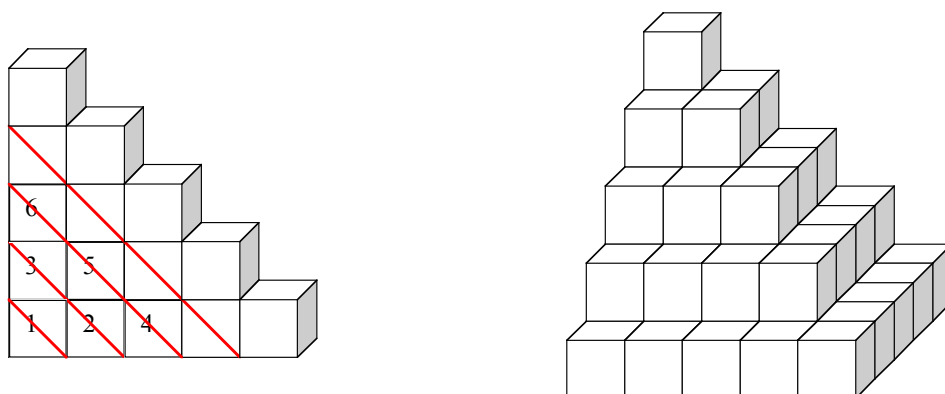


Figure 3. Construction d'un gnomon triangulaire (à gauche). Développement en pyramide (à droite) : le Meruprastara des Veda.

Quand « gnomon » signifie « l'opération dont le retour itéré construit des séries de nombres », il est l'image générique et la méthode d'écriture figurée de la série des nombres carrés de Pythagore. Le second schéma (figure suivante) peut être considéré comme une « vue en plan » d'un édifice pyramidal qui empilerait des cubes par degrés en volume (figure suivante). La formule mésopotamienne étudiée précédemment nous offre la sommation des nombres carrés, qui, mis en volume nous donne et la forme pyramidale régulière à base carrée et le nombre arithmétique des blocs la composant, à chaque enveloppe.

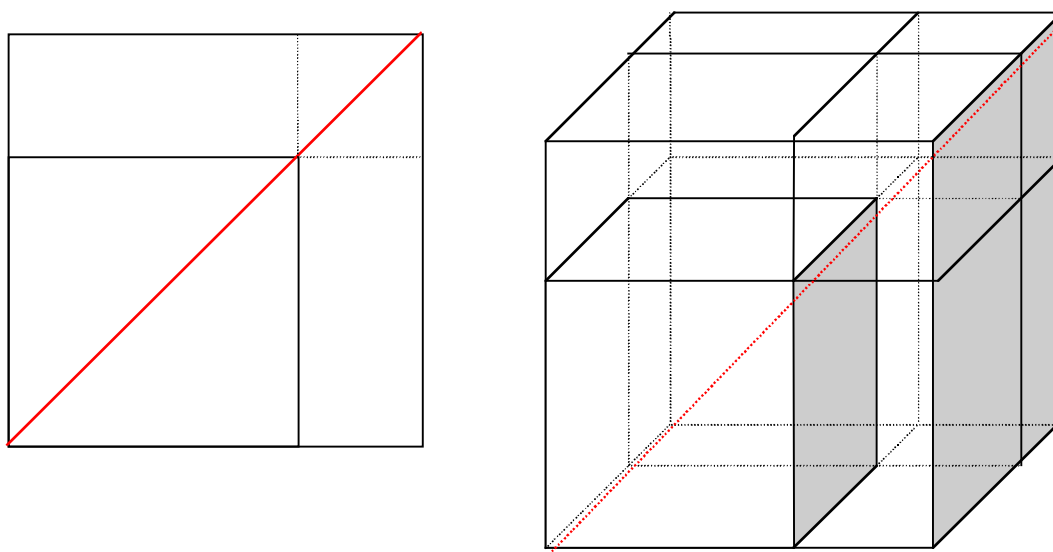


Figure 4. Equerre des gnomons, en surface et en volume, d'après l'auteur.

Quand « gnomon » signifie « l'équerre ou de la bande latérale qu'on ajoute ou retranche », il est alors l'image généralisée au rectangle ou losange de l'accroissement homothétique et de son inverse, en plan bien sûr mais aussi en volume. Cette généralisation ouvre à l'algèbre ou proto-algèbre, par les puissances du binôme $(a+b)^n$ du triangle « pascalien » et l'homothétie des figures qui se construisent sur la diagonale.

La sommation de ces trois schémas se concrétise dans schéma (à droite de la figure

précédente) qui parle de pyramide, non-pas de la forme « formalisée » mais de la forme « générée », de la connaissance du mode d'érection, de la règle, de l'algorithme qui engendre le volume homothétiquement et automatiquement construit. La définition donnée par Michel Serres nous semble pertinente, nous lui avons donné, ici, de la réalité, du corps, du volume :

« Le gnomon se définit comme une loi de construction, comme la règle d'une suite ou son engendrement. Règle automatique, marchant toute seule... » [oui, bien sur !]

Cette vision « gnomonique » anticipe la connaissance et donc l'invention de l'homothétie. En effet, avant même le rapport visuel des trois grandes pyramides du plateau de Gizeh par le visiteur (de tous temps) et le rapport géométrique abstrait des ombres du piquet et de la pyramide du grec Thalès, il a existé, de facto, l'homothétie des différentes enveloppes successives de construction des pyramides de l'Ancien Empire. Cette connaissance gnomonique n'a pas besoin d'être théorisée, mais simplement transmise par la pratique. En effet, et il en est toujours de même aujourd'hui du « savoir-faire », le seul moyen de se l'approprier est de le recevoir, dans sa pratique, des mains de celui qui sait faire. Point n'est besoin de l'écrire ni de l'abstraire et de le théoriser, bien au contraire, c'est le plus sur moyen de le perdre ou le dénaturer.

Qu'on ne vienne pas non plus suggérer que cette connaissance de l'homothétie est hypothétique, embryonnaire ou non révélée. La construction par anticipation des plans inclinés nécessaires à la construction de la Chambre du roi le démontre à l'évidence, de la même façon les sarcophages successifs emboîtés les uns dans les autres ou le mode d'extension des temples, etc. Au contraire, on est invité à penser une véritable maîtrise géométrique dès l'époque, tant elle est nécessaire pour la réalisation des couloirs et des chambres, même s'ils se donnent corollairement en application de l'algorithme de construction.

Mettez de la matière, du volume, du concret, des blocs de pierre à la place des mots, des notions, des nombres et le *gnomon* réalisera, construira la pyramide. Il suffit souvent de mettre la main à l'ouvrage, d'apporter sa pierre à l'édifice, de « penser – agir » en terme ouvrier (et manœuvrier de la machine d'Hérodote), de concrétiser au lieu d'abstraire pour approcher, appréhender un concept.

« Préférons ici machine à instrument, tant, pour nous, l'outil fait référence au sujet qui l'utilise et à sa main ou à l'action volontaire et finalisée pour laquelle celui-ci l'a conçu et fabriqué. »

15.6. Des machines, des ouvrages et des hommes

Cette connaissance appartient toute entière à l'action concrète de « Construction » dont elle est issue, à « l'Art de bâtir » des pyramides où elle gît depuis 50 siècles et que le manque de réalisation concrète a relégué dans l'abstraction arithmétique émergente puis dans la symbolique pythagoricienne, avant d'être définitivement recouverte par l'esprit de Géométrie des visiteurs étrangers.

De fait, en plus la vision mathématique, arithmétique, algorithmique, il faut plonger dans l'histoire du développement, de l'évolution des sciences et des techniques, dans la connaissance épistémologique et philosophique. Néanmoins ces domaines demeurent

inopérants. Il faut y apporter un moteur spécifique, une motivation-reflexe-expérience de bâtisseur, une intuition-appréhension-compréhension du mode générique de la construction : le « génie » des ouvrages et des hommes.

Mais encore fallait-il que cette recherche soit sous-tendue par une philosophie du travail opératoire, au travers d'une pensée ouvrière et manœuvrière, à l'opposé de la séduction du jeu architectural de la forme en elle-même pour aller retrouver le geste premier de l'ouvrier, maçon-manœuvre, celui qui fait, poser une pierre sur deux autres, intelligence de l'artefact.

Encore fallait-il offrir cet « esprit de système » propre à l'algorithme que refusent nombre de personnes, peut-être simplement par incompréhension voire blocage culturel, considérant qu'une telle œuvre (la pyramide) ne saurait se commettre avec l'ingénierie des ouvrages, civils, ruraux, militaires ou mineurs, tout enrubannée de culte et de culture, de religiosité et de mystère.

D'aucuns, et J.Ph. Lauer lui-même, mettent même en doute la faculté des Egyptiens de l'Ancien Empire de maîtriser cette forme de pensée, la pensée algorithmique : « *Telles sont les critiques que je puis faire de votre intéressante et très ingénieuse proposition, qui, à mon avis n'aurait pu être à la portée des constructeurs égyptiens de l'Ancien Empire, il y a 4500 ans.* » (extrait d'une lettre que nous avons reçu de sa part).

Non seulement ces constructeurs maîtrisaient très bien cette forme de pensée algorithmique, et s'ils n'en sont pas les inventeurs (tant d'autres tas de pierre sont antérieurs), ils sont, devant l'Histoire, ceux qui l'auront exprimée de la façon la plus grandiose et la plus magistrale. On peut même, sans risque d'être contredit (à la lecture de cet ouvrage de M. Serres), affirmer qu'ils étaient incapables de penser autrement.

Enfin, pour présenter une visualisation dynamique de « l'accrétion-exhaussement » et de « l'accroissement pyramidal », compréhensibles par tout un chacun, il fallait sortir du mode de représentation de l'architecte qui dessine les formes : plans, coupes, élévations, gymnastique mentale qui lui est propre, et recourir à l'outil de visualisation synthétique de la simulation informatique d'un modèle : heureusement construction pyramidale et simulation informatique procèdent tous deux du logistique et de l'algorithme.

(p 264) « *Penser perpendiculairement.*

Cela ne revient pas à redire la théorie pragmatiste de l'origine des sciences pures d'après laquelle la pratique précède constamment le savoir, les choses construites de main d'homme détenant ou contenant implicitement le secret des spéculations abstraites à venir, comme si la suite et le système des théorèmes déployaient, mimaient, sublimaient, réordonnaient une histoire préalable et obscure d'actes et de gestes : des faits, avant le droit ; des ancêtres, adroits mais grossiers faisaient sans savoir.

... *Non, la théorie ne se ramène point toujours à l'explication de ce qu'implique le travail manuel. Oui parfois, souvent non.* »

En l'occurrence, cela semble bien être le cas pour la construction des pyramides où la forme est générée par l'algorithme, terminologie abstraite d'un mouvement élévatoire élémentaire, doux euphémisme d'un travail ouvrier, d'une manœuvre à bras, dépendante d'effort humain.

Hors de cette re-connaissance à bras-le-corps le « mystère », de l'extérieur, demeure entier. Seule la pratique ouvrière, la pensée ouvrière opératoire permet d'en appréhender le « génie », de l'intérieur.

15.7. Mais où donc est-il aller chercher cela ? Dans l'ombre !

(p 228) « *De l'invention, à nouveau.*

De celui qui invente, ainsi, et de ce qu'il a découvert, on dit le plus communément du monde : mais où donc est-il aller chercher cela ? Rien, ici, n'y ressemble. La mimesis semble en échec tant cela n'imité rien.

Où ? Naïveté toute simple que reprennent les modèles savants. Où donc ? A l'extérieur. Mais à l'extérieur de quoi ? D'ici : du groupe ordinaire et normé par les usages et les lois, du langage usuel et codé, de la science normale, de la formation donnée dans les écoles réputées supérieures, bref, des système clos en général ... »

(p 302) « *Le collectif et le collège scientifique.*

Le contrôle et le consensus de la communauté que définit cet exercice constitue le sujet de la science. Elle pense collectivement. Le sujet de cette pensée ne devient individuel qu'en de rarissimes moments de crise : quand le groupe menacé recueille un exclu en faisant semblant de croire qu'il l'a envoyé en éclaireur pour inventer ou découvrir alors qu'il l'avait, de fait, expulsé. »

En conclusion il faut remercier ici Michel Serres, académicien, historien des sciences et des techniques, épistémologiste, de nous avoir offert, grâce à la qualité et pertinence de sa question-réponse sur « Les origines de la géométrie », un moyen simple et efficace de résumer et approfondir notre propre propos et d'en recueillir les lumières.

Certes son autorité acquise, par l'intelligence et la force de travail de l'homme, nous aura permis de faire l'économie d'un combat qui s'annonçait long et difficile face au consensus de la communauté. De plus, l'élégance de son style nous aura évité bien des maladresses. Le langage et sa maîtrise n'est pas l'apanage des gens de la technique, des hommes d'ouvrages, des praticiens de la pensée ouvrière, bien au contraire !

Quand M. Serres ose dire « esclavagisée », d'après sa compréhension de Socrate dans le Ménon, nous comprenons que ce savoir arithmétique additionnel de la pratique ouvrière, cette pratique métrique appelée « logistique ou/et algorisme », est sortie de l'usage des Grecs dominants, recouvert par la lumière de la géométrie, pour s'enfoncer, se rétracter, disparaître dans l'ombre, à l'usage des dominés, , sans pour autant mourir, mais comme « occultée » par la brillance de la géométrie « descriptive ».

L'algorisme est alors demeuré dans son monde propre, celui des esclaves, celui du travail manuel, celui de l'artisan, de celui qui fabrique, qui construit, qui fait des choses et des objets, concrets et matériels, et M. Serres de poursuivre : « la connaissance gît dans la forme ».

Citons encore A. Dahan-Dalmedico et J. Pieffer (1986)

(p 76) « *L'algèbre géométrique euclidienne.*

Au cours de l'époque grecque classique, la géométrie a occupé une place privilégiée. Elle est par excellence la science dans laquelle s'exerce le caractère déductif du raisonnement, l'art de la démonstration, tandis qu'en théorie des nombres on en est réduit pendant longtemps au procédé de la généralisation par simple induction(depuis Pythagore jusqu'à Nicomaque de Gêrase au Ier siècle après J.-C.) Quand aux tendances calculatrices et pratiques, caractéristiques des mathématiques babyloniennes, elles ne sont pas supprimées pour autant. L'exercice sur des problèmes concrets de la logistique, véritable art du calcul, est même recommandé par Platon pour l'instruction des enfants, "en sorte qu'on les oblige, en les amusant, de recourir à la science des nombres". Mais elle ne jouit pas du noble prestige de la science. [...] l'autre moment significatif de l'Antiquité grecque est l'époque de Diophante, où prédomine cette fois la voie d'inspiration arithmétique. »

(p 77) « *Les Arithmétiques de Diophante.*

Avec Diophante, un nouveau chapitre des mathématiques s'ouvre et il est impossible de mettre en lumière le courant dont il est l'aboutissement. La vie de Diophante est très peu connue, et la période pendant laquelle il a vécu reste contestée (IIIème siècle après J.-C.). Sa grande œuvre, les Arithmétiques, devait comprendre, d'après ce qu'il écrit lui-même dans l'introduction, treize livres.

... Les Arithmétiques ne sont pas un livre d'arithmétique théorique au sens des Pythagoriciens, qui réservaient ce terme d'arithmétique à la théorie des nombres, considérée comme une discipline sans méthode fixe, mais requérant de l'esprit une sorte de divination intuitive. Ils s'apparentent plutôt à la tradition de l'arithmétique calculatoire ou logistique. Pourtant, au moment où Diophante composait son ouvrage, cette distinction primitive semble caduque : d'abord, à cause du titre même choisi et, surtout, parce que la présentation des problèmes pratiques est toujours, dans leur première formulation, abstraite et les données numériques ne sont spécifiées qu'après. Cet énoncé abstrait et général distingue radicalement Diophante des mathématiques babyloniennes.

Il est raisonnable de considérer les Arithmétiques comme une compilation analogue à celle des Eléments d'Euclide, rédigée par un auteur unique, mais fruit d'une tradition plus collective.

... On constate d'emblée l'absence de référence à toute construction géométrique et un début d'algorithme résolutif qui apparente incontestablement Diophante aux mathématiques babyloniennes... Diophante s'affirme ici plus arithméticien et algébriste. Pour lui, le statut des nombres est limité aux rationnels positifs. Evidemment, une solution négative est impensable.

... Dans l'ensemble des mathématiques grecques, elles [les Arithmétiques] représentent essentiellement quelque chose de nouveau [?], tant au niveau du contenu qu'à celui des méthodes, en rupture avec les méthodes géométriques traditionnelles. Pourtant, ce seront ces dernières qui symboliseront l'héritage grecs, alors que l'influence de Diophante perdurera de façon plus souterraine. »

Le calcul néanmoins demeurera vivant, si utile au commerce, mais l'addition si fastidieuse ne sera supplantée par la multiplication /division qu'au IXème siècle, dès lors qu'on aura hérité

du zéro et de système décimal.

(p 83) « *Les mathématiques arabes.*

L'essor des mathématiques arabes commence au VIIème siècle après J.-C., c'est-à-dire aux origines de la religion islamique. Elles vont se développer à partir de multiples problèmes posée par le commerce, l'architecture, l'astronomie, la géographie, l'optique...et vont se caractériser par une synthèse profonde entre les aspirations visant à la résolution de ces problème et un travail théorique intense.

Si l'essentiel des mathématiques arabes est traité dans ce chapitre, c'est que dans le domaine de l'élaboration du calcul algébrique tant abstrait que technique, de la constitution de la théorie des équations, des méthodes algorithmiques au carrefour de l'algèbre et de l'arithmétique, les inventions sont incontestables et les progrès particulièrement décisifs.

On peut distinguer deux étapes dans leur développement : d'abord l'assimilation de l'héritage grec et oriental aux VII et VIIIèmes siècles. Bagdad est le premier grand centre scientifique sous le règne d'Al-Mansur (754-775) et de Harun-ar-Rasid (786-809), les bibliothèques sont nombreuses et les ouvrages scientifiques souvent copiés. La traduction des ouvrages de l'Antiquité grecque s'y poursuivra intensément (Euclide, Archimède, Apollonius, Héron, Ptolémée, Diophante), ainsi que les ouvrages de l'Inde, de la Perse et de la Mésopotamie.

Mais dès le IXème siècle, il y a formation d'une véritable culture mathématique arabe propre, et les nouveaux travaux sortent de l'orbite des mathématiques hellènes.

Le premier savant éminent de l'école de Bagdad est Muhammad Al-Khwarizmi, qui exerça son activité dans la première moitié du IXème siècle au sein d'un groupe de mathématiciens et d'astronomes qui travaillèrent à la Maison de la Sagesse, sorte d'académie établie à Bagdad sous le règne d'Al-Ma'Mun (813-833). Cinq de ses ouvrages en partie remaniés sont conservés, et, en particulier, ses deux traités sur l'arithmétique et l'algèbre ont exercé une influence décisive ultérieurement.

Le traité d'arithmétique n'est connu que dans une version latine du XIIIème siècle, qui n'est sans doute pas une traduction fidèle. Il pourrait s'intituler Livre de l'addition et de la soustraction d'après le calcul des Indiens. C'est en tout cas le premier ouvrage dans lequel sont exposés le système décimal et les opérations effectuées dans ce système, y compris multiplication et division. En particulier, ils utilisent un petit cercle qui a toutes les caractéristiques de zéro.

Al-Khwarizmi et la naissance de l'al-jabr.

Surtout, Al-Khwarizmi est l'auteur du Précis sur le calcul de al-jabr et al-muqabala, qui peut être considéré comme le traité de base d'algèbre en langue arabe, et a fortement influencé , par ses nombreuses traductions latines, toute la science occidentale du Moyen Age. Une grande partie de l'ouvrage est consacrée à des problèmes pratiques très courants dans la vie quotidienne de l'époque, en particulier ceux de partages d'héritage que le droit de succession musulman rendait très ardu. Le traité d'Al-Khwarizmi enseigne comment résoudre les équations du premier et du second degrés à coefficients numériques. Son algèbre est entièrement rhétorique et il n'emploie aucun symbole même pour les nombres..."

Abu Kamil, premier disciple.

Al-Khwarizmi doit être considéré comme le véritable fondateur de la théorie des équations quadratiques et son œuvre se prolonge directement dans celle d'Abou Kamil, originaire d'Égypte, qui publie un traité de même titre : Livre sur l'al-jabr et l'al-muqabala allant aussi jusqu'aux équations du second degré (fin du IX^{ème} siècle - début du X^{ème})...

L'école d'Al-Karagi : les algébristes-arithméticiens

...Ces méthodes d'"arithmétisation de l'algèbre", selon l'expression de R. Rashed, sont fondées sur les premiers éléments d'algèbre d'Al-Khwarizmi et d'Abu Kamil, mais d'autre part aussi, sur la traduction de Diophante effectuée par Qusta ibn Luqa sous le titre d'Art de l'algèbre. En effet, bien que les Arithmétiques soient un livre d'arithmétique dans l'ensemble des rationnels positifs, Diophante y utilise des techniques de nature algébrique. »

Al-Karagi démontrera alors l'équation algébrique :

$$1^3 + 2^3 + 3^3 + \dots + n^3 = (1 + 2 + 3 + \dots + n)^2$$

à partir de la construction géométrique du carré et du gnomon ! Il développera aussi l'équation de ce qu'on appelle le triangle de Pascal.

Rappelons ici les équations de séries arithmétiques retrouvées par O. Neugebauer, dans une tablette datant de l'empire de Nabuchodonosor (env. 580 avant J.-C.) :

$$2^0 + 2^1 + 2^2 + 2^3 + \dots + 2^9 = 2^{10} - 1$$

$$1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + 10^2 = [1 \times (1/3) + 10 \times (2/3)] \times 55$$

qui nous permettent de saisir la continuité, la survivance de l'arithmétique de sommation-induction des Babyloniens et des Égyptiens (qui possèdent un système décimal dès le début contrairement aux Babyloniens qui sont en base 60) dans le calcul algébrique arabe dont l'Occident héritera à la Renaissance italienne. Il aura fallu attendre la fin de la domination gréco-romaine et de son influence culturelle au travers de l'Empire d'Orient, pour voir ressortir ce qui restait de l'arithmétique.

Cependant, il apparaît que cette connaissance, dès lors « esclavagisée », souterraine, « occultée » par la vision géométrique grecque dominante à partir des Alexandrins, constituait le grand monument des mathématiques pré-helléniques, égyptiennes et babyloniennes, première écriture-notation abstraite d'une arithmétique émergente issue d'un savoir-faire, d'une pratique ouvrière de construction des ouvrages de cette période : pyramides, ziggourats et autres tas « m-r » préhistoriques.

16. CONCLUSION

A partir du refus d'avaliser les interprétations habituelles consensuelles, par trop contraires à l'Art de bâtir, l'apport essentiel de ce travail de recherche réside dans l'initialisation d'une démarche de constructeur, projective novatrice, la proposition d'un modèle original, interactif et prédictif, et une synthèse généraliste, à confronter point par point à la réalité des témoignages archéologiques in situ.

Cette recherche s'est structurée de façon générique, à l'image même du mode constructif proposé. Partant d'une simple intuition vide de réalité, elle s'est développée par emprunt de matière et de connaissances alentour, dans les diverses disciplines nécessaires, par étapes enveloppantes successives, par « accrétion-exhaussement », sous tendue par le besoin de comprendre et l'enchaînement des découvertes.

Elle suggère, dans sa forme finale induite par sa genèse, qu'il y a une méthode pour faire grand : celle de commencer petit.

16.1. La synthèse généraliste du « bâtisseur »

Cette synthèse généraliste est par essence guidée par le besoin pragmatique et la nécessité de faire, ce qui nous place d'emblée dans le domaine technique de la réalisation des ouvrages, dans le professionnalisme des Métiers du Génie Civil et de l'Architecture. Elle nous invite alors, en amont, à connaître et rechercher les matériaux à utiliser, les méthodes de mise en œuvre, les outils et leur manœuvre, l'organisation des chantiers.

Rechercher la solution de « l'énigme » ne peut se faire que par une approche « généraliste », celle du constructeur, dans son devoir faire, dans sa façon de penser l'ouvrage à faire, dans sa logique de projection-réalisation, en terme de pensée « ouvrière », en terme « d'œuvre ». Dans ces conditions point n'est besoin d'être le spécialiste d'une discipline quelconque, au contraire, mais de se laisser guider par les besoins et d'y répondre de façon pragmatique.

Bien évidemment, les spécialistes des disciplines et domaines de connaissances scientifiques qui auront été invoqués, seront à la fois surpris ou frustrés, voire vexés parfois de ne pas y avoir songé eux-mêmes qu'ils soient architectes, ingénieurs du génie, géologues. Quant aux néophytes de l'Art de bâtir, même s'ils sont par ailleurs des archéologues-égyptologues éminents, ils leur est souvent difficile d'appréhender le mode de raisonnement technique du « bâtisseur ».

Point n'est besoin encore d'arithmétique ou de calcul. On ne compte pas les blocs, on construit au fur et à mesure des besoins et l'on extrait de la carrière là où la strate est la plus facilement accessible. Pas besoin de connaître la théorie de la fracturation naturelle des roches, cette fracturation existe, il suffit d'extraire par « démisage ». Pas besoin d'une technicité et d'un savoir-faire compliqué, il suffit de répéter toujours la même « manœuvre » et la formation se fait « sur le tas ». Pas besoin d'imaginer des dispositifs intérieurs, il suffit de les modéliser logiquement, corollairement. Pas besoin, enfin, d'imaginer, de projeter une « forme » architecturale, la manœuvre (l'algorithme) ne peut faire que de la pyramide.

La logique constructiviste est impérative, cohérente et pragmatique. La méthode de construction « systématique » est purement additionnelle répétitive. L'appareillage est

reconnu et l'outillage adapté, simple et léger, est facile à fabriquer. Tout cela constitue le « Génie ».

Ce « Génie » situe les Pyramides d'Egypte dans un « continuum technique » issu du fond des temps néolithiques et universalise la corrélation de l'exploitation-extraction du gisement alentour et du foisonnement-construction au centre (une étude de vérification sur l'ensemble des édifices tumulaires et leur description technique s'avère désormais nécessaire). Il en est de même de la méthode « d'accrétion-exhaussement » appliquée aux pyramides à degrés et aux édifices tumulaires dont le système constructif des grandes pyramides n'en est que la phase d'aboutissement magistrale et grandiose !

16.2. Les écrits d'Hérodote

Ce travail démontre également que le texte d'Hérodote recouvre une méthode, un « système constructif » permettant de construire une pyramide lisse, y compris l'ensemble des dispositifs intérieurs, au fur et à mesure de son érection. Pour l'heure, cette solution « machiniste » est beaucoup plus satisfaisante que n'importe laquelle des solutions rampistes proposées jusqu'alors.

A ce titre, elle est en droit d'être diffusée, avant même d'avoir été complètement vérifiée, tout autant et sinon plus que ses concurrentes rampistes ou autres.

A l'opposé de la « culture du mystère », cette contribution est scientifique car elle repose sur des méthodes, des raisonnements, des explications scientifiques, techniques et opératoires, car elle recourt à des modélisations¹, simulations et expérimentations, qu'elle aboutit à des déductions-preuves vérifiables, objectivées et attestées par l'archéologie in situ.

16.3. Concept générique

Aussi est-il intéressant de retrouver, par ailleurs, que la pyramide, « tertre initial émergeant des eaux primordiales » ou « ordre issu du chaos », dans son mode d'accroissement homothétique, conceptualise, génère, ordonne et formalise par essence la conception intellectuelle² du Monde (cosmogonie, théogonie et anthropogonie) des Egyptiens de l'Ancien Empire et des Civilisations avoisinantes.

Conception qui correspond tout aussi bien, qui s'en étonnerait, au concept générique³ de leurs

1. Modélisation et simulation constituent un mode d'approche propre à la démarche scientifique et technique qui ne saurait être confondue avec une maquette de présentation architecturale. La première explicite le processus de génération de la construction, tandis que la seconde formalise l'image finale.

2. D'après Th. W. Danzel, (1939), la conception même du monde, cosmogonie, théogonie et anthropogonie des Egyptiens, mais aussi des Indous védiques et des Indo-brahmaniques, des Sumériens, des Babyloniens, des Hébreux, y compris plus tard chez les Amérindiens et plus près de nous dans la Divine Comédie de Dante, n'est autrement représentée que par des degrés, des cercles ou des sphères concentriques successifs, emboîtés l'un dans l'autre, à l'image des pelures d'oignons ou des poupées russes.

3. Georges Ifrah, (1981-1994), 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

connaissances mathématiques, arithmétiques, physiques et pratiques, à moins que l'ordre logique n'en soit inverse.

La pensée ouvrière, logistique et algorisme, mise en évidence, a contrario de la recherche des origines de la géométrie que nous offre M. Serres, permet d'avancer que nous sommes en présence du système de pensée archaïque de l'Égypte et de Babylone. F. Saleh, Dr en mathématiques, atteste que certains fellah égyptiens calculent encore ainsi.

Parlant de l'invention de la notation numérique qu'il situe vers 3000 avant J.C pour l'Égypte, Georges Ifrah écrit :

« C'est un langage qui organise les concepts numériques en un ordre de succession invariable selon cette idée que la réflexion relie au principe générique de la récurrence, et qui dispose en outre d'une échelle (ou "base") permettant de répartir les nombres suivant des paliers successifs appelés unités du premier ordre, unités du deuxième ordre, et ainsi de suite. Autrement dit, pour que des signes graphiques constituent un système de numération écrite, il faut : premièrement, que ceux-ci soient structurés de telle manière que l'esprit de leur utilisateur puisse les concevoir dans un système d'unités hiérarchisées s'emboîtant successivement les uns dans les autres; deuxièmement, qu'il existe un nombre fixe déterminé à l'avance dont la fonction est d'indiquer le nombre des unités qu'il est nécessaire de grouper à l'intérieur d'un ordre donné pour former une unité de l'ordre immédiatement supérieur (c'est ce qu'on appelle la base du système considéré) ».

Conception du monde ou notation numérique de l'arithmétique naissante ou émergente, la pyramide, dans sa structure algorithmique, offre le même concept générique, la même formalisation, le même système d'accroissement par couches successives emboîtées les unes sur les autres, à l'image des pelures d'oignons ou des sarcophages successifs, à un point tel qu'il est quasiment évident qu'il s'agit là de la seule et unique façon de penser, de concevoir, de représenter, l'univers, le monde, le temps, la vie, à l'époque de l'Ancien Empire. Mais en est-il différemment aujourd'hui ?

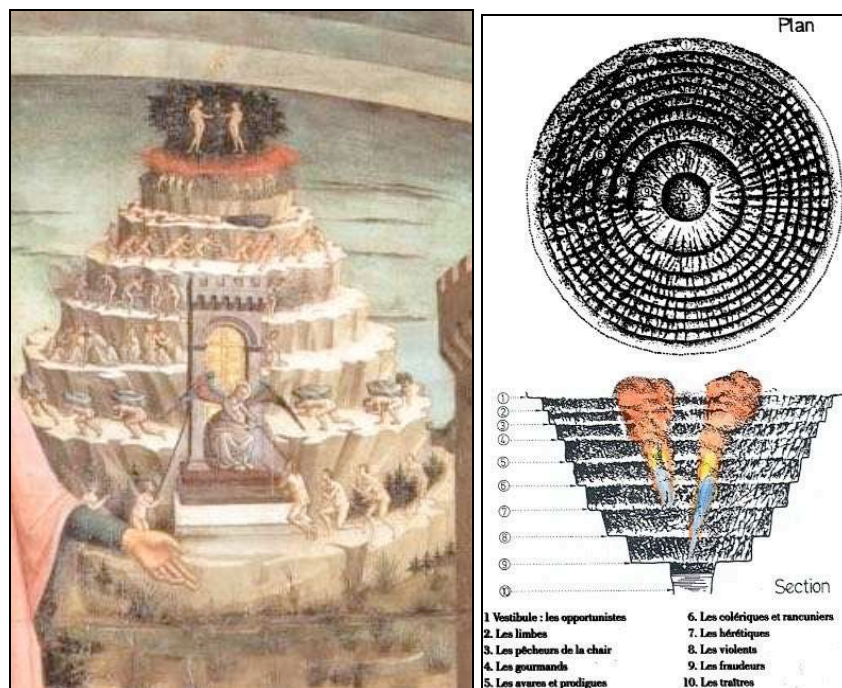


Figure 1. Le Paradis et l'Enfer de Dante (photo J. Kerisel)

16.4. Une connaissance oubliée ?

Cette connaissance aurait-elle été perdue ou « occultée » ? Est-elle devenue obsolète ? N'aurait-elle été pas tout simplement enfouie, occultée par la vision lumineuse géométrique des Grecs « dominants », sous les connaissances accumulées par la suite et fractionnées par la spécialisation, à l'image du pyramidion initial au centre de la base ?

Cette connaissance de pratique ouvrière, ce savoir-faire en terme de méthode et d'outil « machine », algorithme-algorithme générant la forme sans formulation de concept, ou simultanément à celle-ci, et dans l'ombre de la matière même, aura été enfouie sous des couches successives de « façon d'observer » : arithmétique, géométrique, algébrique, religieuse, symbolique, ésotérique, culturelle, archéologique, etc., au point que le plus difficile aura été de traverser ces visions pour accéder au cœur, ce cœur encore vivant d'où émergera l'œuvre, la pratique.

Il suffit de devoir ou de vouloir construire « une pyramide » aujourd'hui, pour en retrouver toutes les nécessités, toutes les logiques, tous les savoirs intérieurs. Il suffit d'oser se poser simplement la question, celle de tout praticien, en prémices au passage à l'acte de bâtir. La compréhension et le savoir-faire ne pouvait s'approcher qu'en faisant, en construisant, en modélisant, non pas dans un rapport d'observateur, d'autant plus s'il est culturel, mais dans un rapport d'acteur, praticien de la pensée ouvrière de ceux qui « oeuvrent » :

« si j'avais à construire une pyramide, comment m'y prendrais-je ? »



Figure 2. Projet PARIS 2001 (par l'auteur) de construction d'une pyramide de 15 m Porte Maillot (1/1000^{ème} de Khéops)

Ou bien alors, il faudrait admettre que tous ces indices :

- les reliquats de carrières, la géologie, la fracturation naturelle des roches ;
- la disposition des blocs sur le sommet et les arêtes, et la restitution de E.W. Lane ;
- la modélisation du procédé d'accroissement pyramidal et les dispositifs intérieurs corollaires ;
- l'interprétation utilitaire de la Grande Galerie en temps que « extraordinaire ascenseur oblique » ;
- la démonstration du mode de construction des pyramides à degrés par « accréation-exhaussement » imposant des parées successives ajoutées au noyau central ;
- le continuum technique issu des premiers temps néolithiques, des simples épierréments ruraux et/ou du vernaculaire ;
- le texte d'Hérodote et les deux termes techniques de « *bomides* » et « *crossai* » ;
- les observations de R. Lepsius et A. Choisy ;
- et jusqu'à la générique arithmétique algorithmique, à l'appréhension-compréhension-représentation du monde, à la conception-même ...

ne sont qu'illusions d'optique ou chimères, inventions mensongères ou élucubrations mentales, ou bien qu'elles n'ont été placées là, intentionnellement ou malencontreusement, que pour nous induire en erreur, voire se jouer de nous, de nos piètres connaissances, de notre naïveté ou de notre prétention !

16.5. « Je pense donc je suis » et réciproquement.

Quelle prétention en effet que de s'être attelé à un tel Travail, à un tel Ouvrage, à un tel Symbole, à l'encontre de tous, simplement parce qu'on pense différemment et y consacrer tant

de temps ! Comment éviter la suite cohérente de la pensée, comment refuser la naissance des idées, comment nier la conjonction constructive ?

En quoi consiste ce respect, ce devoir, cet aboutissement fait à soi-même ? Peut-on seulement l'éviter, le refuser, le nier ? Ou faudrait-il se taire ou attendre, au nom d'un consensus général ou d'un ménagement particulier, d'une faveur épistémologique, d'une déontologie ou d'un privilège, du respect d'un ordre supérieur ou de l'appartenance à la communauté ?

Il eut été sans doute plus adroit, voire plus convenable « culturellement », de poser des questions et d'évoquer des réponses, de tourner autour du sujet et d'en décrire les aspects, de ménager les susceptibilités, les notoriétés, ceux qui font autorité, dans un polissage sans cesse réitéré, plutôt que de glaner ici et là des bribes de connaissances empruntées aux uns et aux autres et d'essayer d'assembler, d'articuler et formuler une réponse, naïve, grossière, rustique et novatrice qui ne pourra manquer d'offrir le flanc à la critique.

Certes, les lacunes « culturelles » sont grandes, plus on pénètre le savoir et plus on devient conscient de son ampleur et de notre propre incapacité à la maîtriser. Faudrait-il alors se taire en toute humilité ? Paradoxalement, le bagage culturel n'étant pas trop lourd, il n'aura pas ralenti la recherche.

Car à l'image de la pyramide elle-même, les matériaux, les savoirs, les observations, les mesures, les photographies, tout a été emprunté alentour, tout était déjà connu, présent, visible. Seule la « logistique » manquait pour relier tous ces éléments ensemble, les ordonner et les expliciter. Cette logistique n'est autre que l'Art de bâtir qui ne se conjugue que dans la pratique.

16.6. Le débat est relancé

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 Savoir-faire des Métiers, connaissances enseignées dans les institutions scientifiques, techniques et professionnelles, du monde entier.

Ce débat, certes, concerne les Instances égyptiennes et internationales de l'égyptologie et de l'archéologie, elles sont désormais saisies par ce travail de thèse de doctorat, bien qu'il émane d'une autre discipline.

16.7. Le génie des ouvrages et des hommes

Connaître le « Système constructif des Pyramides » d'Egypte, Patrimoine Mondial de l'UNESCO, participe de l'Histoire des Sciences et Techniques, des Ouvrages et de l'Art de bâtir, domaine important du patrimoine culturel des hommes, et donc ainsi de l'Histoire universelle de l'Humanité.

Si la Grande Pyramide y laisse un peu de son « Mystère », elle y gagne en « Génie » !

17. BIBLIOGRAPHIE

- ADAM Jean-Pierre, *L'archéologie devant l'imposture*, 1975, Ed. Robert Laffont
- ADAM Jean-Pierre, ZIEGLER Christiane, *Les pyramides d'Egypte*, 1999, Ed. Hachette Littératures.
- ALBERTELLI Louis, *Le secret de la construction de la pyramide de Kheops*, 1993, Ed. du Rocher,
- ARNOLD Dieter, *Building in Egypt, Pharaonic Stone Masonry*, 1996
- ARNOLD Dieter , *Überlegungen zum Problem des Pyramidenbaus*, 1981, MDAIK
- BELZONI G, *Voyage en Egypte et en Nubie*, 1979, Ed. Pygmalion, Gérard Watelet, Collection « Les grandes aventures de l'archéologie »
- BORCHARDT L. *Einiges zur dritten Bauperiode der Großen Pyramide bei Gise*, 1937 Bf 1,
- BOUTHOU L. Gaston, *Les structures sociologiques*, 1969, Ed. Petite bibliothèque Payot.
- BRIDGES Marilyn, *L'Egypte vue du ciel*, 1996, Ed. du Seuil
- BRUCHET J., *Nouvelles recherches sur la grande pyramide*, 1965, Ed. La Pensée Universitaire
- CERAM C.W., *Des dieux, des tombeaux, des savants*, 1955, Ed. Club des Libraires de France,
- CHOISY Auguste, *Histoire de l'Architecture*, 1899, Editions Vincent, Fréal & Cie
- CHOISY Auguste, *L'Art de bâtir chez les Egyptiens*, 1904, Ed. Edouard Rouveyre
- COMPAGNONS DU DEVOIR Association Ouvrière, *L'Encyclopédie des Métiers, La maçonnerie et la taille de pierre*, Tome 5, Les outils, p 278, 1^{er} paragraphe, Le Levage, bardage et transport de gros blocs de pierre dans l'Egypte ancienne.
- COUCHOUD Sylvia, *Mathématiques égyptiennes*, 1993, Ed. Le Léopard d'Or.
- CROZAT Pierre, *Système constructif des pyramides*, 1997, Ed. Canevas
- CUVILLIER Jean, *Contribution à l'étude géologique du Mokkatam*, 1924, Bulletin de l'Institut d'Egypte, Tome VI (session 1923-1924), Imprimerie de l'IFAO,
- DAHAN-DALMEDICO A./ PEIFFER J., *Une histoire des mathématiques*, 1986, Ed. du Seuil
- DANZEL Th. W., *Magie et Science Secrète*, 1939, Ed. Payot
- DAUMAS F., *La Civilisation de l'Egypte pharaonique*, 1965, Ed. Arthaud

DE CENIVAL J.-L., STERLING H., *Egypte*, dans Architecture Universelle, 1964, Ed. Office du Livre, Fribourg

DELLA Monica, *La classe ouvrière sous les pharaons*, 1980, Ed. Librairie d'Amérique et d'Orient, Paris, 1980

DIODORE de Sicile, *Naissance des Dieux et des Hommes - Livre I - Art LXIII* – 1991, Ed. Les belles lettres - Collection La roue à livres, Traduction de M. Casevitz

DIOP Cheikh Anta, *Nations nègres et culture*, 2000, Ed. Présence Africaine,

DORMION G, GOIDIN J.-P., *Khéops : nouvelle enquête*, 1986, Ed. Recherche sur les civilisations, Paris

DURAND F., *Granit, la pierre et les hommes*, 1999, Ed. Gérard Louis

EDWARDS I.E.S., *Les pyramides d'Égypte*, 1981, Ed. Taillandier.

ELIADE Mircea, *Histoire des croyances et des idées religieuses, tome 1 : de l'âge de la pierre aux mystères d'Eleusis*, Ed. Bibliothèque Historique Payot, 1989

EL-NAKKADY S. E., *Stratigraphic and Petroleum Geology of Egypt*, University of Assiut, Monograph series n°1. 1958,

GEIST Henri, *Les Cahiers du Cercle d'Histoire et d'Archéologie des Alpes Maritimes*, n°7, saison 1999/2000, Nice.

IFRAH Georges, *Histoire universelle des Chiffres*, 1994, Ed. Robert Laffont

GOYON Georges, *Le secret des bâtisseurs des grandes pyramides*, 1977, Ed. Pygmalion.

GRIMAL Nicolas, *Histoire de l'Égypte ancienne*, 1988, Ed. Fayard

GUERRIER Eric, *Le principe de la pyramide égyptienne*, 1981, Ed. Robert Laffont

HAMBLIN Dora Jane *A unique approach to unraveling the secrets of the Great Pyramids*, 1986, Smithsonian, Vol.17, n° 1, p 78-93.

HERODOTE, *L'Enquête*, Livre II, Art 125 et 126., 1964, Ed. Gallimard, Traduction de Andrée Barquet

HUME, W. F., *The Surface features of Egypt, their Determining Causes and relation to geological structure*, Géology of Egypt, Vol. 1, 1925, Government Press, Cairo.

ILLIG Heribert, LÖHNER Franz, *Der bau der Cheops-pyramide*, 1993, Ed. Mantis Verlag

GENESTE J.M., GOMEZ DE SOTO J., JOUSSAUME R., RIGAUD J.-Ph., *Les hauts lieux de la Préhistoire en France*, 1989, Ed. Bordas.

JACOMY Bruno, *Une histoire des techniques*, 1990, Ed. du Seuil,

JOUSSAUME Roger, *Des dolmens pour les morts*, 1985, Ed. Hachette

- JOUVEN Georges, *Les nombres cachés – Esotérisme arithmologique*, 1990, Ed. Dervy Livres
- KERISEL Jean, *La pyramide à travers les âges*, 1991, Ed. Presses Ponts et chaussées
- LAUER J.Ph, *Le mystère des pyramides*, 1988, Ed. Presses de la Cité.
- LEGRAND Ph. E., *Hérodote, introduction*, 1996, Ed. Les Belles Lettres.
- Les descriptions d'Égypte*, Ed. Panckoucke, (1821-1829)
- MARAGIOGLIO V. et RINALDI C., *L'architettura delle piramidi menfite*, 1965
- MOSTAFA M., *Évolution tectonique de la plate-forme africaine en Égypte depuis le Mésozoïque à partir de l'analyse des déformations cassantes*, Thèse de doctorat de l'Université Paris 6, n° 537. 1999.
- MENDELSSOHN Kurt, *L'énigme des Pyramides*, 1974, Ed. Taillandier.
- OBENGA Théophile, *La philosophie africaine de la période pharaonique*, 1990, Ed. L'Harmattan
- PETRIE W. M. F., *The building of a pyramid in Ancient Egypt*, 1930, Londres,
- POCHAN A., *L'énigme de la grande pyramide*, 1971, Ed. R. Laffont
- RUHLAND Michel, *Méthode d'étude de la fracturation naturelle des roches associée à divers modèles structuraux*, 1972, Recherches sur la fracturation naturelle des roches 1969-1972, Sci. Géol. Bull.
- SAÏD Rushdi , *The Geology of Egypt*, 1990, Ed. Rushdi Saïd (1990)
- SAÏD Rushdi, *Subsurface geology of Cairo area*, 1975, Mem Inst Egypt, 60.
- SAÏD Rushdi., , *The Geology of Egypt*, 1962, Ed. Elsevier.
- STADELMANN Reiner, *Die großen Pyramiden von Giza*, 1990, Ed. Adeva.
- VITRUVÉ, *Les dix livres d'architecture*, 1965, Ed. Les Libraires Associés. Traduction intégrale de Claude Perrault, (texte original de 1673), revue et corrigée sur les textes latins et présentée par André Dalmas.
- WISSA Myriam, *La pierre de construction à l'Ancien Empire dans les complexes funéraires royaux Memphito-Létopolitains*, 1995, Thèse en Archéologie et Histoire Egyptienne, Université de Paris - Sorbonne (Paris IV).

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX (HORS ANNEXES)

INDEX

A1. LES GRANDES DIVISIONS DE L'HISTOIRE DE L'EGYPTE

Le tableau ci-dessous rappelle les grandes périodes de l'histoire de l'Égypte en mettant l'accent sur quelques aspects de l'évolution de la construction et de l'architecture antique.

Période prédynastique 6000-3200 av. J.-C. *Pas de constructions durables. Nombreux outils de pierre et poteries décorées.*

Période archaïque ou «Chinite»
3200-2700 av. J.-C. **I^{er} dynastie: 3200-2850** Sept pharaons de Ménès (Narmer) à Ka.
Grands tombeaux de briques à Hiérakonpolis, Abydos et Saqqarah. Développement de l'écriture hiéroglyphique

II^e dynastie: 2850-2700 Huit pharaons de Hotepsekhemoui à Khasekhemoui

Ancien Empire ou Empire Memphite
2700-2200 av. J.-C. env. **III^e dynastie: 2700-2620** Cinq rois de Neterikhet-Djéser à Houni
Début de l'architecture de pierre. Complexe de la pyramide à degrés de Djéser à Saqqarah.

IV^e dynastie: 2620-2500 Six ou sept pharaons de Snéfrou à Skepseskaf, dont Kheops, Khéphren et Mykérinos

Grandes pyramides et complexe funéraire (temple, chaussée conduisant au temple funéraire accolé à la pyramide).

V^e dynastie: 2500-2350 Neuf pharaons d'Ouserkaf à Ounas. Les plus connus sont Sahouré et Djédkaré-Iesi.

Temples solaires royaux à obélisque construit et autel monumental. «Mastabas» décorés pour hauts fonctionnaires.

VI^e dynastie: 2350-2180 Sept rois de Téli I^{er} à une reine, Nitocris. Pépi I^{er} et Pépi II appartiennent à cette dynastie.

Développement des inscriptions dans les pyramides. Tombes princières en province.

Première période intermédiaire
2180-2060 av. J.-C. env. Epoque de troubles suivie d'un temps où l'Égypte est gouvernée par des dynasties parallèles, l'une dans le Nord, l'autre dans le Sud.

VII^e dynastie: Sans doute fictive (soixante-dix rois règnent soixante-dix jours, selon Manéthon).
Pas de monuments connus.

VIII^e dynastie: 2180-2160 Siège à Memphis. Compte de 8 à 27 souverains selon les sources.

Peu de monuments en dehors de la pyramide d'Ibi à Saqqarah.

IX^e et X^e dynasties: 2160-2040 Au Nord, à Hérakléopolis, près du Fayoum. Plus de six pharaons, dont trois Khéti.

XI^e dynastie: 2160-2060 Au Sud, à Thèbes. Trois pharaons, dont Antef.

Tombes creusées dans la falaise thébaine.

Moyen Empire ou Premier Empire thébain

2060-1785 av. J.-C.

Fin de la XI^e dynastie: 2060-2000 Trois Mentouhotep. Le premier réunifie l'Égypte en 2040.

Temple funéraire de Mentouhotep à Deir-el-Bahari

XII^e dynastie: 2060-1780 Sept pharaons (Amenhemat, Sésostri). Fin de dynastie par le règne d'une femme.

Le labyrinthe à Harvara. Chapelle de Sésostri à Karnak. Grandes forteresses entre la première et la deuxième cataracte en Nubie. Statuaire royale.

Deuxième période intermédiaire

1785-1580 av. J.-C.

Epoque d'instabilité politique, très mal connue, invasions d'Asiatiques, les Hyksos, qui s'emparent du pouvoir.

XIII^e et XIV^e dynasties: 1785-1680 On connaît les noms de quelque quarante pharaons. Certains ont dû régner parallèlement dans le Nord, le Centre et le Sud de l'Égypte. A partir de 1730, ils deviennent des vassaux des pharaons Hyksos.

Pas de monuments connus, en dehors de nombreuses stèles et statues

XV^e et XVI^e dynasties Hyksos: 1730-1680 La XVI^e dynastie, dite des Petits Hyksos, n'est connue que dans le delta oriental. Les Grands Hyksos comptent cinq grands pharaons, dont un Khyan et deux Apopi.

Pas de grands monuments, mais des statues et de nombreux scarabées.

XVII^e dynastie: 1680-1580 Quatorze souverains gouvernent Thèbes et sa région. Vassaux des Hyksos, les trois derniers, Taà I^{er}, Taà II et Kamosis, commencent la lutte contre les Hyksos du Nord.

Tombes de Thèbes, dont celle de Sequenenré, Taà II et son épouse (riche mobilier funéraire).

Nouvel Empire ou Deuxième Empire thébain

1580-1090 av. J.-C.

XVIII^e dynastie: 1580-1314 Quatorze souverains depuis Ahmosis jusqu'à Horemheb. C'est à cette dynastie qu'appartiennent la reine Hatshepsout, Akhenaton (Aménophis IV) et Toutânkhamon.

Début de la construction du grand temple d'Amon à Karnak. Temples de Louksor et de Deir-el-Bahari. Colosses de Memnon. Tombes de la vallée des Rois, notamment celle de Toutânkhamon. Tombes, stèles et statues de Tell-el-Amarna (Néfertiti).

XIX^e dynastie: 1314-1200 Neuf pharaons, les Ramessides, avec Ramsès I^{er} et II, Séthi I^{er} et II.

Temple de Karnak. Obélisques et colosses de Louksor. A Thèbes, Ramesseum.

Grandes tombes de la vallée des rois et de la vallée des reines. Temples d'Abou-Simbel en Nubie et temple d'Abydos.

XX^e dynastie: 1200-1085 Dix souverains, tous du nom de Ramsès (de III à XI), sauf le premier, Sethnakht

Troisième période intermédiaire

1085-715 av. J.-C.

Epoque confuse. L'Egypte est divisée entre le Nord, où règnent les pharaons «tanites», et le Sud, sous l'autorité des grands prêtres d'Amon.

XXI^e dynastie: 1085-950 A Tanis, Smendès, Psousennès I^{er} et II. A Thèbes, Héhihor et Pinedjem.

Peu d'activités artistiques

XXII^e et XXIII^e dynasties (libyennes): 950-730 Neuf pharaons, Shershonq (I à V), Osorkon (I à IV), Takelos (I à III).

Tombes royales de Tanis. Porte monumentale d'Amon.

XXIV^e dynastie: 730-715 Fondée à Saïs par Tefnakht, à qui succède Bocchoris.

Renaissance éthiopienne et saïte

750-525 av. J.-C.

XXV^e dynastie: 750-656 Ethiopienne avec Piankhi (Peye), Chabaka et Taharka.

Monument de Napata au Gebel Barkal.

XXVI^e dynastie: 663-525 Saïte. Psammétique (i à iii), Néchao, Apriès et Amassis.

Art archaïsant copiant les modèles de l'Ancien et du Moyen Empire. Sérapeum de Memphis.

Dernières dynasties égyptiennes

404-341 av. J.-C.

XXVII^e dynastie: Pharaons perses. Cambyse, Darius, Xerxès et Artaxerxès.

Embellissement du Sérapeum de Memphis.

XXVIII^e dynastie: 404-398 *Art archaïsant copiant les modèles de l'Ancien et du Moyen Empire. Sérapeum de Memphis.*

Un seul pharaon: Amyrtée.

XXIX^e dynastie: 398-378 Mendésienne. Cinq souverains, dont Néphérétis, Psammouthis et Achoris.

XXX^e dynastie: 378-341 Fondée par Nectanébo I^{er} auquel succèdent Nectanébo II, Téos.

Seconde domination perse

341-333 av. J.-C.

Trois souverains perses dominant l'Egypte: Artaxerxès III, Arsès et Darius III.

- Egypte ptolémaïque** L'Egypte est gouvernée par des pharaons parlant grec, les Ptolémées (I à XIII), et par leurs femmes Cléopâtre et Arsinoé.
330-30 av. J.-C. *Construction ou reconstruction de très nombreux temples à Denderah, Edfou, Kom-Ombo et Philae.*
- Egypte romaine et byzantine** Protectorat romain depuis 59 av. J.-C, l'Egypte est conquise par Octave en 30 av. J.-C. En 639, les Arabes prennent l'Egypte.
30 av.J.C.-639 ap .J.-C. *Jusqu'en 395 de notre ère, poursuite de l'entretien et de la construction de temples dans le style égyptien par les empereurs romains. Fermeture du temple d'Isis à Philae en 550.*

A2. ECHANGES AVEC LES SPECIALISTES

Suite à sa publication, nous avons communiqué notre ouvrage intitulé « Système constructif des pyramides » (Crozat, 1997) à de nombreux égyptologues-archéologues de renom, instituts et musées internationaux, soit environ cinquante exemplaires. L'occasion nous est donnée ici de réagir à certaines réponses obtenues, à certaines remarques formulées.

Les réponses obtenues ont été de trois ordres et les quelques exemples suivant permettront de cerner les problématiques évoquées dans ces échanges.

Les réponses cordiales

Elles n'ont que peu d'intérêt vis à vis du sujet traité, citons cependant, entre autres :

- lettre de Christiane Ziegler, Conservateur général, Chargé du département des Antiquités Egyptiennes, Musée du Louvre, en date du 07/01/97 :

« *Cher Monsieur,*

J'ai bien reçu le très intéressant ouvrage "Système constructif des pyramides" que vous avez gentiment apporté à mon bureau et je vous en remercie sincèrement. Je peux vous assurer que ce livre passionnant figurera désormais en bonne place dans la bibliothèque de mon département. Veuillez agréer, cher Monsieur, l'expression de mes salutations distinguées. »

- lettre de Dr. Dieter Arnold, Curator in the Egyptian Department of the Metropolitan Museum of Art, en date du 27/01/99 :

« *Dear Mr. Crozat,*

I thank you for sending me the material on your studies of pyramid building which are very interesting indeed. I hope that you will publish the results of your work in a more detailed form in order to illustrate how you would imagine the solution of specific problems such as the construction of the pyramid casing and how the monuments show that the Egyptians particularly applied your method.

With best wishes for your studies,

Yours sincerely »

Traduction française :

« *Cher Monsieur Crozat,*

Je vous remercie de m'avoir fait parvenir le fruit de vos études sur la construction des

pyramides qui, en effet, semble très intéressant. J'espère que vous publierez les résultats de votre travail sous une forme détaillée afin d'illustrer la façon dont vous imaginiez la solution à certains problèmes spécifiques tels que la construction du revêtement et comment les édifices montrent que les Égyptiens ont spécifiquement appliqué votre méthode.

Avec mes meilleurs vœux pour vos études, sincèrement. »

- lettre de Jean Leclant, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Inscriptions et Belles-lettres, Institut de France, en date du 26/03/97 :

« Je vous remercie, Monsieur, de votre ouvrage "Système constructif des pyramides" que je vais lire avec grand intérêt - sincèrement toujours émerveillé par les prouesses des Anciens Égyptiens.

Avec le témoignage de mon intérêt et ma cordiale considération. »

Les réponses d'encouragement

En l'occurrence, elles sont intéressantes par la vision de la méthode d'approche du sujet traité et la prise de conscience épistémologique :

- lettre de Mr Horst Jaritz, directeur de l'Institut Suisse de Recherches Architecturales et Archéologiques de l'Égypte Ancienne, en date du 16/01/97 :

« Das konstruktive system der Pyramiden.

Sehr geehrter Herr Crozat,

Hiermit bestätige ich den Eingang Ihrer Arbeit über die Pyramiden und bedanke mich für das unserer Bibliothek zugedachte Exemplar.

Ich beglückwünsche Sie zu dieser Arbeit mit Ihrer allein "das konstruktive Verfahren von <Anwachsen - Erhöhen> (Herodot) berücksichtigenden Methode bei der Betrachtung des Aufbaus der Pyramiden, die, wie Sie sagen, sicherlich die bisherigen Fachleute auf diesem Gebiet herausfordern wird, ihre bisherigen Theorien neu zu überdenken. Insofern hat Ihre Arbeit bei uns einen guten Platz, selbst wenn wir uns bei unseren derzeitigen Arbeiten nicht mit den Pyramiden befassen.

Mit nochmaligen Dank und freundlichen Grüßen. »

Traduction française :

« Cher Monsieur Crozat,

J'accuse réception par la présente de votre ouvrage sur les pyramides et je vous remercie beaucoup pour l'exemplaire destiné à notre bibliothèque ;

Je vous félicite pour le travail concernant votre méthode prenant en compte « le procédé constructif d'accrétion-exhaussement » (Hérodote) dans l'étude du mode de construction des pyramides, qui, comme vous le dites, va obliger, de façon certaine, les spécialistes actuels à reconsidérer les théories divulguées jusqu'à présent.

Pour cette raison, votre ouvrage viendra en bonne place dans notre institut, même si, parmi nos travaux actuels nous ne nous préoccupons pas des pyramides.

Vous réitérant nos remerciements, recevez nos amicales salutations. »

- lettre de Prof. Dr. M. Valloggia, Université de Genève, Faculté des Lettres, Directeur du Département des Sciences de l'Antiquité, en date du 30/05/97 :

« Monsieur,

De retour de notre dernière campagne de fouilles à Abou Rawash, je viens de trouver votre ouvrage et, au nom de notre bibliothèque d'Égyptologie, je vous remercie de cet envoi.

Dans un proche avenir et sur la base de nos observations de terrain, je ne manquerai pas de vous communiquer mon avis sur votre recherche.

En vous réitérant ma gratitude, je vous prie d'agréer, Monsieur, mes salutations distinguées. »

Les réponses critiques de contradicteurs

Elles sont particulièrement intéressantes par le fait qu'elles fixent la position et la compréhension des opposants, mais aussi parfois parce qu'elles obligent à chercher plus avant pour pouvoir y répondre valablement quelque en soit le ton ou la forme :

- Lettre manuscrite du Pr. Dr. J.-Cl. Goyon, Institut d'Égyptologie V. Loret, Maison de l'Orient à Lyon , en date du 28 mai 1997 :

« Monsieur,

J'ai effectivement reçu votre ouvrage il y a quelques temps mais n'ai pas eu la possibilité jusqu'ici de réellement en absorber la critique interne, si tant est que ceci soit de mon ressort. Lorsque les multiples tâches qui sont les miennes me le permettront, je vous adresserai mes remarques, s'il y a lieu.

Je crains qu'il y ait une cruelle méprise de votre part. Je suis égyptologue, certes mais je ne suis pas Georges Goyon, hélas disparu qui, lui, était architecte et spécialiste de la question des pyramides. Pour moi, je ne suis qu'un épigraphiste, papyrologue, spécialiste de l'époque ptolémaïque et romaine pour ce qui est des textes et de l'écriture. Dans le domaine de la

construction, des techniques, des sciences, je n'ai de compétences à partir de mon expérience que pour le Nouvel Empire et bien sûr, l'époque récente qui est mon centre d'intérêt.

De la sorte, je suis très perplexe devant votre phrase "votre implication vis à vis de ce thème", car vous venez de le voir dans les lignes qui précèdent, mes soucis dans la rédaction du "Manuel de construction pharaonique" que je rédige sont très loin des pyramides ! D'autant plus que Dieter Arnold dans son ouvrage Buiding in Ancient Egypt a traité très clairement des problèmes relatifs aux monuments de l'Ancien Empire et encore plus clairement dans son tout récent Lexikon der ägyptischen BauKunst (1995). En outre, mes références vont encore à R. Stadelmann, Pyramiden (1982) et GroBen Pyramiden von Giza (1987).

Au titre de "l'esprit scientifique et technique", je ne peux que vous renvoyer à ces "maîtres" qui ont, probablement, des "archives" avec photos aériennes récentes des points qui vous intéressent. Pour ma part, je ne dispose de rien de tel. Peut-être G. Dormion qui vient de publier "La pyramide de Kheops - Architecture des appartements funéraires" a-t-il bénéficié grâce à Edf d'une couverture photographique externe de la pyramide, bien qu'il ne semble s'être intéressé qu'à l'intérieur. Autre ressource peut-être possible : demander au Pr. J. Yoyotte au Collège de France si les archives du Cabinet ont, mais cela je n'en sais rien, des photographies dans ce domaine et peut-être de Georges Goyon qui, avant la guerre de 1939 avait relevé les graffiti de voyageurs de la plate-forme.

Bref, sur ce point précis, mon inutilité et incompetence sont totales et je n'ai aucune honte à le dire. Quant à vos propositions accréation/levier, si j'admets le levier pour la pose, j'ai une trop grande abondance d'attestations à toutes époques, de Meïdoum à Abousir, Lisht et autres Assouan ou Gebel Silsileh pour finir par Karnak, de rampes de construction en briques de terre crue sable et rondins pour m'en tenir là.

Si controverse il devait y avoir, c'est à Dormion, je pense que vous devriez vous adresser. Pour moi, et je le répète, ce qui m'intéresse est la construction de Karnak (voir J. Cl. Golvin - J. Cl. Goyon, Les Bâisseurs de Karnak, 1987) ou d'Edfou, Dendara, Phlae et autres temples, pas les Pyramides !

Avec mes regrets de n'avoir aucune implication vis à vis de ce thème.

J. Cl. Goyon. »

Bien évidemment cette lettre appelle quelques commentaires par le fait qu'elle est révélatrice d'un certain comportement assez courant dans le milieu de l'égyptologie.

J. Cl. Goyon, « l'égyptologue, épigraphe, papyrologue, spécialiste de l'époque ptolémaïque et romaine pour ce qui est des textes et de l'écriture » à qui le courrier était bien adressé (et non pas à Georges « l'architecte ») a la modestie, de ne se déclarer « compétent » que dans le domaine de la construction, des techniques et des sciences qu'en ce qui concerne le Nouvel Empire, et d'indiquer que « ses soucis sont bien loin des pyramides ! », ce qui semble être une façon d'éviter le débat.

Il cite alors, comme références, les « maîtres » en la matière (D. Arnold, R. Stadelmann, peut-être même G. Goyon et G. Dormion) à croire qu'il n'a pas lu l'ouvrage « Système constructif des pyramides » qu'il atteste avoir reçu. En effet, une analyse critique des propositions de ces différents auteurs y est faite, point de départ de notre refus de les prendre en considération. Son insistance alors signifierait donc qu'il refuse, a priori, toute idée qui pourrait remettre en

cause ces « maîtres » de qui il a reçu ce qu'il considère comme vérité, tout en étant, il le dit lui-même « sans honte », « d'une inutilité et d'une incompétence totales » en ce qui concerne les pyramides !

Néanmoins, s'il admet la possibilité de l'utilisation du « levier pour la pose », il a tellement de preuves attestées de la présence de rampes de briques crues (seraient-elles autres que ce qu'on connaît ?) qu'il s'en tient là ! Si, par hasard, il avait d'autres preuves, il aurait du nous les fournir ! Mais ce débat ne l'intéresse pas.

Tout en étant « incompétent » il a ses « maîtres » à penser, « rampistes » évidemment, et sachant ce qu'il sait il s'en tient là !

Cette attitude serait risible s'il ne s'agissait d'un professeur en charge d'enseigner qui consiste à dénier à quiconque n'appartient pas au sérail et reconnu comme tel par l'institution, le droit d'intervenir dans le domaine, on doit s'en tenir à ce que l'on sait, à ce que l'on a appris des « maîtres » ! Pas le droit de penser, penser par soi-même, ce qui veut dire penser autrement et donc autre chose, et d'ouvrir le débat.

Car si le sujet du mode de construction des pyramides était à ce point éclairci et traité par les auteurs cités par J. Cl. Goyon, ça se saurait ! Que ne nous l'ont-ils dit et prouvé scientifiquement ! Aucun auteur d'une quelconque théorie « rampiste » ou « mixte » n'a réussi à être convaincant, argumenté, cohérent et démonstratif ; et même D. Arnold et R. Stadelmann, deux auteurs allemands contemporains sont loin d'être d'accord entre eux. Et que dire de tous les autres auteurs dont nous ne pouvons que conseiller la lecture !

La question reste donc entière et posée, sans réponse valable pour l'heure et rien ni personne ne peut nous interdire d'y apporter notre propre contribution. On pourrait même penser que les « professionnels » et « professeurs » de l'égyptologie-archéologie ont le devoir de l'examiner, de la comprendre et de la vérifier, eux qui ont accès libre aux sites archéologiques et aux financements publics ou autres.

Au contraire, toutes les portes se refermeront par crainte d'on ne sait quoi, à croire qu'on ne doit pas savoir ce qui se passe derrière le « savoir » ou que l'édifice du « savoir » risque d'en être ébranlé, comme un véritable décors !

- lettre de J. Pierre Adam, CNRS, Directeur de recherche à l'Institut de Recherche sur l'Architecture Antique de Vincennes, en date du 30/04/97 :

« Cher Monsieur,

J'ai bien reçu votre "Système constructif des pyramides" et vous en remercie ; c'est le troisième ouvrage définitif que je reçois cette année sur le sujet. Il en viendra d'autres.

Votre hypothèse est intéressante pour des pyramides toutes identiques et bâties avec des blocs faits au moule, d'une régularité absolue. Ce sont bien là les hics, toutes les pyramides diffèrent dans leurs structures et leurs blocs de massif n'ont de commun que d'être taillés dans la pierre.

L'essentiel est que vous vous soyez fait plaisir ; mais continuer à vous intéresser à l'Égypte, son art monumental le mérite amplement.

Meilleures salutations. »

Cette critique « brutale » contient néanmoins quelques ferments pour le chercheur. En effet, au lieu de refuser la modélisation (en morceau de sucre, sur le coin d'une table, qui, pour cause sont normalisés (n°4), ce que tout un chacun a bien compris) et de ce fait refuser l'outil même de la recherche, il eut été plus positif de s'interroger sur les raisons et les conséquences dans la mise en œuvre, de la présence de blocs de dimensions variés, ce qu'il nous aura paradoxalement obligé à faire et se retournera en démonstration de son erreur.

Cependant, on aurait pu s'attendre, de la part d'un Professeur, maître de recherche, une attitude plus ouverte et plus réfléchie, voire plus pédagogique.

Sans vouloir polémiquer, J.P. Adam, en même temps qu'il portait sa moquerie sur tous ces auteurs d'ouvrages « définitifs » était en train de rédiger le sien, en collaboration avec Christiane Ziegler, intitulé « Les pyramides d'Égypte » (Adam, 1999).

Citons le passage où il parle du néo-machiniste et de la structure *en pelure d'oignon* :

« On serait tenté d'y voir une édification par montages successifs de pyramides de taille croissante ; c'est la vieille théorie , dite "des accrétions", émise vers 1845 par Richard Lepsius, puis reprise par Auguste Choisy et Ludwig Borchardt. Cette hypothèse, pourtant, ne résiste pas à la logique constructive, car, si l'on suppose le modèle initial déjà volumineux, elle exige un travail énorme de reprise et d'achèvement de chaque pyramide. Par ailleurs, le procédé ne tiens pas plus si l'on imagine que l'on part d'un tout petit édifice que l'on accroît régulièrement ; car il conviendrait alors d'avoir des matériaux parfaitement standardisés et, surtout, il serait exclu de pouvoir recourir aux rampes. » (p.43)

On aurait souhaité que les auteurs de cet ouvrage, qui se veut définitif, citent leurs sources (nouvelles) ! Cependant, cette précision et cet entêtement dus, de toute évidence à J.P. Adam, révèlent, là encore la même « réaction brutale » qui n'étonne plus mais force à nous interroger : « l'archéologie devant l'imposture » (cf livre portant ce nom du même auteur) serait-elle une arme à double tranchant ?

D'un point de vue scientifique, d'une part le modèle proposé s'applique essentiellement aux grandes pyramides lisses de la IV^{ème} dynastie (ayant bien pris soins de le spécifier) cet amalgame est grave et tendancieux, cependant le chapitre sur le « continuum technique » a élargi le principe à tous les édifices tumulaires ; d'autre part, au niveau de la méthode, toute la recherche scientifique repose sur l'élaboration d'hypothèses, l'élaboration de modèles, et leurs confrontations et vérifications.

En fait, la nouveauté est encore plus œcuménique que dans son premier ouvrage, « L'archéologie devant l'imposture », où il tentait de concilier l'usage du trépied pour le revêtement et la rampe pour le massif de gros œuvre, il nous affirme alors (mais affirmation n'est pas démonstration) :

« Si l'usage des rampes est bien hors de doute, on ne saurait affirmer, ni qu'elles étaient toujours orthogonales aux faces, ni qu'elles s'élevaient jusqu'au sommet des pyramides. On peut penser que l'on eut parfois recours à des rampes hélicoïdales, ce qui suppose que les

blocs du parement n'étaient pas ravalés afin de permettre l'accrochage de ces rampes sur les gradins, ce qui facilitait ce ravalement au fur et à mesure du démontage de la rampe. On est en droit de supposer également qu'afin d'épargner le volume considérable exigé par les rampes frontales on limitait la rampe au tiers ou à la moitié de la hauteur ; et que, au-delà, les bâtisseurs, selon la formule vague donnée par Hérodote, recouraient à des procédés de levage où de simples leviers tenaient une place essentielle. Cette seconde hypothèse est d'autant plus vraisemblable qu'avec l'élévation, le volume du monument se réduit, et que la dimension des pierres va généralement en diminuant » (p 41).

Rampe frontale, rampe alterne d'Hölscher, levier, rampe hélicoïdale, et pourquoi pas les écluses de Minguez ?

Le plus paradoxal est que cet auteur défend une « théorie mixte » qui propose l'utilisation de rampes jusqu'à la chambre du roi et l'utilisation du levier pour la suite de la construction, allant même jusqu'à dessiner sa conception de la « machine » « *selon la formule vague d'Hérodote* » : un trépied sur lequel manœuvrer un bras de levier.

Quant à « *l'exclusion de pouvoir recourir aux rampes* », que n'a-t-il acheté un seul kilo de sucre pour comprendre ! Il aurait pu alors s'amuser à construire « tout un faisceau de rampes » par anticipation sur la face nord !

- lettre de J.Ph. Lauer (manuscrite), Directeur de recherche honoraire au CNRS, en date du 29/02/97 :

« Monsieur,

Je vous remercie de votre geste de courtoisie, exprimé par votre lettre du 7 novembre qui m'atteint à Saqqarah, où j'ai fêté, il y a quelque semaines, ma première venue et le début de mes travaux de recherche sur ce site, il y a 70 ans (!!), ainsi que de l'envoi de votre fort ingénieuse étude sur "le système constructif des pyramides", où vous écarterez d'emblée le système des rampes frontales que j'ai préconisé dans mon "Mystère des Pyramides", puis dans la "Revue d'Égyptologie"¹ et en dernier lieu dans l'Encyclopédie des Métiers².

Vous me faites l'honneur de présenter mon système de rampes frontales comme unanimement accepté, ce qui n'est pas absolument exact puisque des publications relativement récentes présentent encore des systèmes de rampes périphériques : essentiellement Dows Dunham³, J.P. Adam⁴, et surtout mon vieil ami Georges Goyon, hélas ! décédé depuis peu. Vous ajoutez,

1. Cf. RdE, t. 40, 1989, p. 91-111 et pl.1-3.

2. Lauer, *Levage, bardage et transport de gros blocs de pierre dans l'Égypte ancienne*, Encyclopédie des Métiers (Fondation de Coubertin) La maçonnerie et la taille de pierre, t. 5, 1993, p278.

3. cf. Dows Dunham, *Building an Egyptian Pyramid*, in *Archeology*, Vol.9, 1956, n° 3, p159-165.

4. *L'Archéologie devant l'imposture*, Ed.Robert Laffont, 1975.

il est vrai, immédiatement après, que vous contestez radicalement mon système pour la principale raison qu'il faut faire une distinction entre la mise en œuvre des blocs de 2,5 tonnes au maximum et celle des 90 monolithes de granit de 25 à 50 tonnes, ce que j'ai néanmoins prévu ; ma très large rampe frontale permet, en effet, parfaitement de réserver au dessus du massif même de la pyramide les extrémités et retours d'une ou plusieurs pistes provisoires pour la montée de ces très gros blocs par des contrepoids utilisant des glissières sur la face nord dont la pente beaucoup plus accusée que celle de la "Grande Galerie" est aussi par conséquent plus efficace. Le but de cette dernière n'était d'ailleurs initialement que d'y entreposer les tampons de granit jusqu'à leur envoi dans le couloir ascendant pour le bloquer après les funérailles du roi. Si cette "Grande Galerie" avait dû servir de support à la glissière destinée au contre-poids des énormes dalles de granit jusqu'à cette opération, pourquoi l'aurait-on limitée à l'extrémité supérieur du couloir ascendant ? Finalement, comme je l'ai expliqué dans Beitrage Bf.12, Festschrift Ricke (Wiesbaden, 1971), lorsqu'on eut décidé d'abandonner la chambre dite "de la Reine" comme tombe du Roi même et de la remplacer par la chambre de granite où se trouve son sarcophage, on se contenta de prévoir le blocage de la partie inférieure du couloir ascendant par quelques tampons de granit et l'on monta des échafaudages dans la "Grande Galerie" pour en extraire les autres en vue de leur ré-emploi au sommet de cette dernière dans la construction du passage aux herses, du dallage et de la première assise de la nouvelle chambre sépulcrale désormais prévue en granit pour le roi, en attendant la livraison des blocs commandés à Assouan pour compléter ses parois et effectuer son plafond. Mais pour couvrir cette vaste salle, les architectes de Kheops commirent une autre erreur grave en en surestimant la résistance du granit à la flexion et en supprimant ici la disposition en chevrons qu'ils avaient imaginée pour les énormes blocs de calcaire couvrant l'entrée de la descenderie et la chambre dite de la Reine : les grosses poutres-dalles de granit se fissurèrent apparemment dès la pose. Ils crurent alors pouvoir y remédier en disposant au-dessus successivement cinq chambres de décharge, mais aux quatre premières des fissures étant également apparues, ils se résolurent enfin de couvrir la cinquième en chevrons de calcaire qui, comme à la chambre de la Reine, résistèrent enfin !

Tout cela montre bien que sous Kheops les architectes firent leurs expériences sur le tas, ce que l'on constate également pour ceux de Snéfrou à la Rhomboïdale et à celle de Meïdoum. Les édifications de ces premières très grandes pyramides furent des entreprises téméraires, et l'on constate ensuite, dès Khephren un retour à une certaine prudence : la couverture en chevrons de la salle sépulcrale fut exécutée à fleur du sol, ce qui simplifie considérablement le problème.

Mais la plus grave erreur des architectes de Kheops fut de brancher un couloir ascendant sur la première descenderie initialement prévue pour conduire à une chambre sépulcrale souterraine comme à la pyramide ébauchée de Sekhem-khet. En effet, si le blocage d'un couloir descendant est chose relativement aisée, celui d'un couloir ascendant depuis son départ inférieur, surtout à partir d'un autre couloir, n'est guère possible. Il eût certainement mieux valu établir une seconde descenderie à un niveau supérieur, peut-être double de celui de la première, pour rejoindre directement, au même point qu'elle, le départ du couloir de la chambre "de la Reine". Quant à la Grande Galerie, initialement prévue pour pouvoir bloquer le couloir ascendant à partir de son sommet, elle fut, malgré sa beauté et la perfection de son exécution, également un échec, car elle ne pouvait permettre de dissimuler totalement dans la première descenderie le débouché du couloir d'échappement nécessaire aux exécutants du blocage du couloir ascendant après les funérailles royales. Enfin, ce changement de but final de la Grande Galerie initialement prévue comme voie de garage sans issue à son extrémité

supérieure, en vestibule d'accès (d'aspect monumental) à la nouvelle chambre sépulcrale, devait inciter les violateurs à chercher un passage au sommet de sa rampe.

Tout cela ne démontre-t-il pas clairement que si nous y devons aux architectes de Kheops l'invention de la voûte en chevrons, la Grande Galerie fut l'objet par ailleurs d'innovations fâcheuses qui en compliquèrent sérieusement la construction, et que les architectes des pharaons suivants cherchèrent à éviter ? Cela est manifeste dès les pyramides de ses trois premiers successeurs Didoufré, Khephren et Mykérinos, et plus particulièrement à Khephren avec les gros blocs de sa voûte en chevrons disposés presque à fleur de sol.

En ce qui concerne votre système de construire par accréation-exhaussement à partir du centre par couches successives, elle est certes fort ingénieuse, mais nécessite l'emploi de pierres de mêmes dimensions, ou à la rigueur de deux ou trois dimensions, mais ce qui complique alors beaucoup et devrait se remarquer dans le massif des pyramides. A Kheops les dimensions des blocs paraissent, au contraire, extrêmement variables et la disposition d'assises alternées en boutisse et panneresse, que l'on trouve dès les pyramides à degrés de Saqqarah et de Meïdoum, n'y apparaît pas aussi clairement. Je me suis d'ailleurs demandé si les bomides et krossaï d'Hérodote ne désignaient pas précisément ce système de pose de pierres, qui dérive de la construction en brique crue.

Je me permets ainsi de douter que les architectes égyptiens de la IV^{ème} dynastie, qui étaient encore si éloignés de nos raisonnements mathématiques modernes, aient pu songer à votre système, d'autant qu'aucun indice n'en a été découvert jusqu'à présent. Quant à l'édification de l'appartement funéraire proprement dit, j'avoue ne pas bien saisir en quoi elle se trouverait simplifiée dont le rythme serai interrompu là, alors qu'une rampe très large ayant atteint et recouvert partiellement le massif construit de la pyramide à ce niveau aurait aisément permis d'y tracer et édifier le plan voulu, en utilisant la face nord pour les contrepoids.

En revanche, j'approuve absolument votre idée de rechercher l'emplacement des carrières de Kheops aux approches mêmes de sa pyramide, et je pense surtout à l'espace qui s'étend au sud et sud-est de sa pyramide jusqu'au Sphinx qui pourrait être une laisse aménagée dans cette carrière.

Je pense, enfin, que vous accordez trop d'importance aux écrits d'Hérodote, qui se fait l'écho de ce qu'on disait à son époque sur les grandes pyramides c'est-à-dire à plus de 2 millénaires du temps de leur construction. Ces écrits fourmillent d'erreurs, tant au point de vue historique, comme, par exemple le nom de Rhampsinites au lieu de Snéfrou pour prédécesseur de Kheops, qu'au point de vue de la prétendue irréligion de Kheops et de Khephren, qui divinisés à leur mort bénéficièrent d'un culte funéraire important, si l'on en juge par les vestiges de leurs temples et principalement le temple bas en granit de Khephren, ou plus encore au point de vue technique, concernant les dimensions mêmes de la pyramide où Hérodote donne comme égales la longueur du côté de la Grande Pyramide et sa hauteur ; ou encore (comme je l'ai signalé p.207 du Mystère des Pyr.,Edit.1988) à propos de "l'emploi de machines où l'on achevait d'abord le sommet de la pyramide, puis l'on passait aux parties immédiatement inférieures, et mettant enfin la dernière main aux étages proches du pied même de l'édifice", il ne pouvait s'agir là que du ravalement final du parement de la Pyramide, qu'il était normal de commencer par le haut, et non de la construction de cette dernière, comme le comprit Hérodote

Telles sont les critiques que je puis faire de votre intéressant et très ingénieuse proposition, qui, à mon avis, n'aurait pu être à la portée des constructeurs égyptiens de l'Ancien Empire, il y a 4500 ans.

Je vous adresse l'expression de mes meilleurs sentiments avec mes remerciements pour votre envoi.

*PS : J'ajouterai que je n'ai jamais soutenu que les Egyptiens de l'Ancien Empire aient connu le "nombre d'or". J'ai simplement signalé que l'on trouve ce nombre très approché et écrit "qu'il est concevable qu'on ait réussi à y découvrir, mais fort longtemps après leur érection, des qualités de rencontre comme celles de π et ϕ demeurés totalement insoupçonnés des constructeurs" (cf. *Myst.des Pyr.*, Edit. 1988, p 237)."*

Sans se lancer, ici et maintenant, dans une analyse de texte (les différentes réponses aux arguments avancés par J.Ph. Lauer sont à trouver dans les différents chapitres qui composent ce mémoire) on ne peut que se féliciter d'une réponse aussi détaillée et argumentée qui montre l'intérêt certain que J.Ph. Lauer a éprouvé pour cette étude, au point de devoir la contrer point par point. Les divers arguments avancés, qui n'ont rien de nouveau, sont loin d'être irréfutables, comme le voudrait leur auteur, bien au contraire ! Enfin, on conçoit aisément qu'il campe sur ses positions antérieures acquises, cependant, en toute logique, affirmation ne saurait valoir démonstration.

On peut aussi s'interroger sur l'imputation de toutes ces « *erreurs successives* » à l'encontre des architectes de Kheops, sur la mise en doute perpétuelle des écrits d'Hérodote et sur la qualification d'ingéniosité trop insistante pour n'être pas péjorative, attitude par trop subjective pour servir valablement d'argumentaire.

Toujours est-il que les architectes-ingénieurs-constructeurs des pyramides n'étaient en aucun cas aussi médiocres que J.Ph. Lauer cherche à nous faire entendre, pour avoir réalisé la Grande Pyramide, entre autres, première des merveilles du monde antique, aujourd'hui encore un « mystère » pour certains. Mais peut-être J.Ph. Lauer, lui-même, n'a-t-il pas très bien compris le « système », du fait-même qu'il qualifie facilement d'ingénieux ce qui semble lui échapper et refuse, a priori, la notion-même de système, pour preuve son appréciation de la théorie émise par K. Lepsius : « *cette théorie très ingénieuse, mais par trop systématique, a été combattue à juste titre par divers auteurs, et principalement par Flinders Petrie.* » (Lauer, 1988, p 68).

Vis à vis de la communauté, il eût été dommage qu'il ne répondît rien à notre envoi, comme tant d'autres. Qu'il en soit ici remercié.

- entretien avec Audran Labrousse, architecte-archéologue à l'Institut Français d'Archéologie Orientale (IFAO), au domicile de l'auteur, à Paris, en date du 09/10/97 :

Cette rencontre, proposée par Jean Leclant, a permis de développer l'ensemble du travail de recherche contenu dans l'ouvrage publié par l'auteur, le visiteur n'en ayant pas eu connaissance au préalable.

La discussion animée, Audran Labrousse étant fouilleur du complexe funéraire de Pépi à Saqqarah appartenant à la VIème dynastie, il décrivait le système des backing-stones et pensait pouvoir le généraliser alors que l'auteur parlait des Grandes pyramides lisses de la IVème dynastie. L'argumentaire du visiteur était qu'on ignorait la constitution interne des grandes pyramides que certains pensaient pouvoir assimiler à des pyramides à degrés, réalisées par tranches de maçonneries (compte tenu des « girlestones » régulièrement posées dans le couloir ascendant de la pyramide de Kheops) dont les degrés auraient été comblés par du remplissage pour aboutir à la forme lisse, à l'instar de celle d'Abousir. Cependant la sape intempestive d'Al Mamoun ne montre rien de ce type, mais au contraire que le massif de maçonnerie est plein et compact, sans tranches quelconques.

La conclusion de ce vif entretien fut qu'il y avait, bien évidemment, plusieurs « systèmes constructifs des pyramides », qu'Audran Labrousse décrivait celui des pyramides à textes de la VIème dynasties, alors que nous parlions de celui des grandes pyramides lisses de la IVème et qu'il faudrait, pour que tout le monde puisse y voir clair et l'admettre, s'attacher à expliciter l'ensemble des différentes pyramides au travers d'un principe général qui les relie toutes.

Ce travail, nous l'avons développé et présenté dans ce mémoire. On peut le résumer ainsi : le principe général des pyramides d'Egypte consiste en un développement par enveloppes successives à partir du centre « en pelure d'oignons » qui recouvre les pyramides à degrés, les temples solaires, les grandes pyramides lisses, les pyramides à textes et sans doute les pyramides en brique. De plus, cette évolution technique des systèmes constructifs des pyramides d'Egypte n'est en fait qu'une partie d'un véritable « continuum technique » qui explicite l'évolution de tous les édifices tumulaires, en fonction des matériaux fournis par le gisement local et des techniques d'extraction, de débardage, de transport et de mise en œuvre.

A3. LES TRAVAUX DE MARK LEHNER

Nous ne saurions passer sous silence les travaux de Mark Lehner sur le plateau de Giza, parce qu'ils font régulièrement parler d'eux, qu'ils sont les plus récents travaux « de terrain » sur le sujet et tendent à fabriquer une théorie « officielle » sur la construction des pyramides.

L'analyse du texte relatif à l'étude et l'examen du schéma de reconstitution du plateau de Gizeh proposés par Mark Lehner, publié dans l'article de Dora Jane Hamblin sous le titre « A unique approach to unraveling the secrets of the Great Pyramids », (Hamblin, 1986) suffit pour comprendre qu'il est partisan de la théorie « rampiste » à rampe hélicoïdale enveloppante, du même type que celle proposée par Georges Goyon.

Différents extraits de cet article vont nous permettre de mieux cerner cette approche et la pertinence des conclusions qu'il en tire.

En fait, ces questions posées à Mark Lehner, par l'intermédiaire de notre travail critique au sens scientifique du terme, s'adressent, au delà de sa personne, à tous les théoriciens, défenseurs et/ou conservateurs « rampistes », mais aussi à tous les égyptologues et archéologues, observateurs et curieux. En effet, tout un chacun déplore, dans un premier temps, les non-sens pseudo-scientifiques et semi-mystiques, des prédécesseurs ou contemporains, dans le but de justifier sa propre intervention, mais personne n'engage une véritable démarche scientifique qui permettrait une vérification, et se retrouve en fait, au bout, dans la même attitude interprétative et donc critiquable.

Un travail intéressant

Pour notre propre étude, l'intérêt du travail de M. Lehner réside dans ce qu'il a la fois typique de la dérive pseudo-scientifique et semi-mystique qu'il dénonce et, d'autre part, emprunt d'un pragmatisme de terrain. Il va donc lever quelques questions pertinentes, mais verser très vite dans son interprétation, pré-conçue, lui empêchant d'approcher et la démarche scientifique et donc, la conclusion qui s'impose. Il est néanmoins le premier des « rampistes » à rechercher des éléments de compréhension et de preuves dans la géologie et sur le site.

Mais l'interprétation qu'il donne, compte tenu de ses études sur le site de Gizeh depuis plusieurs années, au sein du Centre Américain de Recherches en Egypte, semble bien être la solution « acceptée » par les Autorités égyptiennes puisqu'elle est la seule à être divulguée lors du Son et Lumière des Pyramides de Gizeh.

« Sans doute aucun monument des temps anciens aura été l'objet de tant d'admiration – et de tant de non-sens pseudo-scientifique et semi-mystique – que les trois pyramides et le grand Sphinx du plateau de Gizeh... »

Dans un jaillissement d'énergie inégalée depuis et jusqu'alors, les pharaons de la Quatrième Dynastie réussirent ; d'à peu près 2700 à 2550 av. JC, à extraire et transporter 11 millions de yards cubes de pierre et à les façonner en pyramides, temples, chaussées, sans l'aide ni de bête de somme, ni de la roue. Et malgré 200 ans d'études, excavations et un déluge d'écrits scientifiques, personne ne sait exactement comment ils transportèrent la pierre des carrières aux pyramides, ou quelles méthodes d'arpentage et d'alignement ils

utilisèrent afin d'atteindre cette étonnante précision.

Il reste à présent à fournir le dernier et le plus méticuleux des efforts pour élucider ce problème. » (Hamblin, 1986, p79)

Mark Lehner travaille donc de façon officielle et suivie, mettant en place des moyens importants et des techniques modernes d'investigation ; on serait donc en droit d'attendre des réponses scientifiques.

« C'est le Projet Cartographique du Plateau de Gizeh, qui débuta en 1984 et continuera pour au moins deux ans encore. Son directeur de recherche sur le terrain est un jeune égyptologue américain du nom de Mark Lehner, du Centre Américain de Recherches en Egypte, travaillant sous les bons auspices de l'Organisation des Antiquités Égyptiennes. Son but est de produire, avec des outils aussi précis que les théodolites, des outils de mesures électriques de distance, et la technique de photogrammétrie, la première carte complète et grandement détaillée de chaque élément du plateau, et d'en extrapoler les pièces manquantes du puzzle de Gizeh.

“Il est archéologiquement impossible que les traces de milliers de travailleurs, de leurs résidences, et de leurs rampes de construction, les marques des géomètres, aient pu disparaître totalement,” dit Lehner. “Le problème vient du fait que les travaux archéologiques sur le site, ont été ou d'une envergure trop grande en proportion, avec perte de catégories subtiles d'information, ou se sont concentrés trop étroitement sur des pyramides individuelles, des tombes, des temples, afin d'appréhender l'ensemble du problème. » (Hamblin, 1986, p 82-84)

Graffiti d'ouvriers

Mais les interprétations, qui faussent la lecture du site, arrivent déjà, accompagnées d'une mise en scène théâtrale sur les carrières, les rampes et les travailleurs, interprétations qui ne sont pas dénuées de sens poétique. Certes, les graffiti retrouvés comportent un intérêt certain et l'interprétation donnée corroborent le texte d'Hérodote que l'auteur aurait pu néanmoins citer. Contrairement aux images répandues, les ouvriers qui construisirent les pyramides n'étaient pas des esclaves, encore moins s'ils doivent manœuvrer la « machine » plutôt que de traîner des blocs sur une rampe quelle qu'elle soit, comme des bœufs ou des bourricots.

« Dans le temps de la construction des pyramides, le vaste plateau sableux surmontait un port nourri de canaux fourmillant de bateaux du Nil à coques peu profondes. De larges rampes d'acheminement conduisaient des carrières adjacentes jusqu'à la pyramide grandissante, et des équipes de 20 à 50 hommes tiraient des cordes harnachées autour de leurs épaules pour lentement déplacer des blocs de calcaire local vers le haut. Le site résonnait du bruit des ciseaux en cuivre et des marteaux en pierre sur le calcaire, des cris des contremaîtres, du chant et des gémissements des travailleurs de force. Des feux pour la cuisson brûlaient ici et là. Ceux qui apportaient la nourriture s'agitaient, les porteurs d'eau assouvissaient la soif générale et servaient les besoins des constructeurs. Il y avait des potiers et des vanniers, et des marqueurs (enregistreurs de données) égyptiens omniprésents (ils étaient obsédés par les décomptes et les comptes rendus). » (Hamblin, 1986, p 80).

« Les hommes travaillaient probablement de l'aube au crépuscule, sous les yeux attentifs des ingénieurs et des architectes et un encadrement de contremaîtres positionnés sur un affleurement qui offrait une vue du port, des carrières, des rampes et des quartiers des travailleurs. Les premières interprétations qui voyaient ces hommes comme des esclaves ont depuis été largement rejetées par les Egyptologues, qui pensent maintenant qu'ils s'agissaient majoritairement de paysans détachés selon un système de rotation pour des périodes de quelques mois chaque année. Ils étaient appelés au service de leur dieu-roi à la construction d'un édifice sacré, nourris, logés et habillés – de manière rudimentaire pense-t-on. A en juger par les marques peintes ou incisées sur les énormes blocs qu'ils "grappaient", ils semblent qu'ils aient trouvé leurs identités de groupe et une fierté dans leur réalisation : un bloc de la Grande Pyramide porte les inscriptions "L'Equipe des Artisans-comme il est grand le pouvoir du maïs de Khnum-Koufou." (Koufou est une forme raccourcie du nom du pharaon pour lequel ils travaillaient ; le dieu à tête de bélier Khnum était son protecteur spécial). Sur d'autres sites, les excavateurs trouvèrent des pierres marquées "L'Equipe Victorieuse" ou "L'Equipe Résistante". Certains "zèleux" ont même marqués les blocs laborieusement coupés des mots "cette face en haut." » (Hamblin, 1986, p 81)

Mark Lehner semble détenir les preuves de l'extraction, sur le plateau de Gizeh, des pierres de gros œuvre des pyramides, au point d'identifier certains blocs provenant de certaines carrières. Certes, les strates de calcaire ne sont pas toutes de la même qualité, mais ces strates recouvrent l'ensemble du plateau et doivent être re-situées dans l'étude géologique, tectonique et stratigraphique générale. Cette étude lui aurait permis de repérer les zones d'emprunt de chacune des trois pyramides du plateau et de ne pas confisquer les matériaux de Khephren au profit de Khéops ! La zone d'emprunt des matériaux de Khéops se situera alentour et principalement à l'Ouest, à l'emplacement de la nécropole des Mastabas, celle de Khephren se situera à l'Est de celle-ci (donc au sud de Khéops), la tête du Sphinx nous montrera l'épaisseur de l'exploitation.

Cette erreur de vision de Lehner vient du fait qu'il n'a pas théorisé le principe de l'emprunt des pierres sur le site, principe valable pour toutes les pyramides, pas plus qu'il n'a calculé les volumes d'emprunt nécessaires et rechercher alors l'équilibre des volumes entre carrières et pyramides. En fait, il nous semble qu'il veuille à tout prix nous montrer la possibilité de la théorie de la rampe hélicoïdale, et seule la face sud, non occupée alors pouvait admettre le départ de rampe. Dans ce contexte, que faire de « l'allée montante » qui relie la vallée au plateau qu'Hérodote dit avoir été construite en premier, en dix ans, en même temps que les chambres souterraines ? Elle n'aurait donc aucune utilité, et serait faite pour les processions religieuses ?

« Malgré leurs études de tous les matériaux disponibles, la plupart de ce que Lehner et son équipe internationale ont d'ores et déjà conclu, vient de l'analyse des traces géologiques, culturelles ou humaines qui existent toujours sur le site.

La logique voudrait qu'il y ai eu un port. Contrairement aux notions qui veulent que les pierres de construction soient venues de loin, il est maintenant accepté que la majorité avait été en fait extraites du plateau même. Lehner est allé un peu plus loin : il a identifié certaines carrières et à retracer l'origine de certains blocs. Cependant, du matériel tel que le calcaire blanc de Tura qui servit à recouvrir les pyramides, venait de l'autre côté du Nil, et le granite des chambres mortuaires du pharaon, d'Assouan, 400 miles en amont. »

« Mark Lehner a combiné des éléments connus basés sur une recherche archéologique de plusieurs siècles avec ses propres découvertes et théories après deux saisons passées à “cartographier” la nécropole et cinq ans d'étude du Sphinx. Là sont les carrières, les canaux menant du Nil au port dans lesquels furent acheminés le calcaire de revêtement et le granite des tombes, les rampes sur lesquelles tout le matériel constituant la pyramide aura été hissé à sa place. » (Hamblin, 1986, p 84)

Rampe hélicoïdale

Quant au système de rampe hélicoïdale enveloppante (levée de terre) qui génère la construction de la pyramide, son angle de talus est trop faible pour de la terre (arable ?) et/ou du sable, ce qui serait pis. Encore faudrait-il l'emprunter quelque part, il suffirait peut-être d'agrandir le port, la transporter (sans brouette) et la mettre en place ! Il faudra bien sûr l'évacuer ensuite ! Un rapide calcul, avec une épaisseur de terre de 25 m, impose un volume de terre quasi équivalent au volume de la pyramide qu'il faudra ensuite évacuer.

Après Khéops, Djedefré ira construire son monument funéraire à Abou-Roach, il faudra ré-emprunter un même volume de terre pour réaliser la pyramide de Khephren, quelques années après, au même endroit.

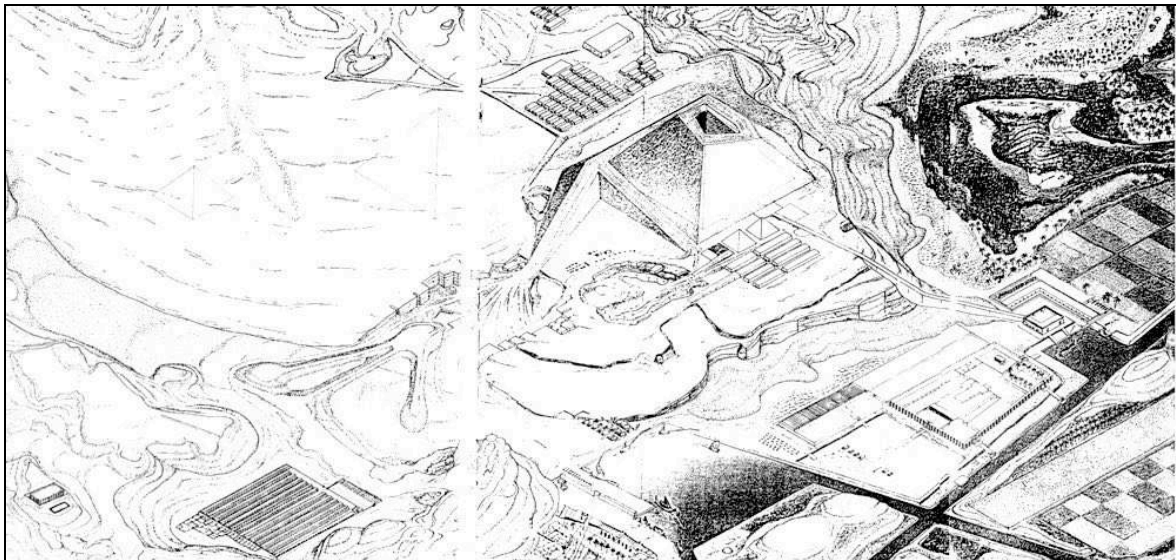
« Dans les années 1880, quand Sir Flinders Petrie étudia le plateau, il croyait que les pierres de gros oeuvre avaient été importées parce qu'il ne pouvait trouver aucune carrière. Depuis des années maintenant, les Egyptologues ont su que les carrières étaient là, bien là ; elles étaient simplement remplies de débris et de sable charrié. Utilisant observation et géologie locale, Lehner localisa la carrière principale de la Grande Pyramide directement au sud de celle-ci. Là la stratification naturelle de calcaire, appelée Mokattam, aurait offert aux travailleurs de la pierre facilement découpable en blocs, et la pente naturelle aurait facilité la construction d'une rampe pour l'acheminement des blocs vers le site de la pyramide.

La plus déconcertante des questions demeure celle de savoir comment les Egyptiens ont pu acheminer à 450 pieds de hauteur, des blocs de construction de 2,5 tonnes en moyenne et allant jusqu'à 15 tonnes. Les spécialistes ont suggéré des rampes de glissement faisant face à la pyramide. Beaucoup se sont accordés à penser qu'elles étaient faites de briques de boue du Nil. Lehner rejette à la fois les briques de terre et les rampes faciales. « Afin d'être utilisable, une rampe faciale devra être au moins d'un mile de longueur pour la Grande Pyramide. De plus, une rampe en briques de terre aurait laissé des tonnes de débris. Elle n'existe pas tout simplement » dit-il. « Ce qui est là, et on le trouve dans les rampes subsidiaires et les berges, est un mélange d'ébréchures de calcaire, de gypse, et d'argile calcaire local appelé tafta. Il y a des tonnes de ces débris qui remplissent de nos jours les carrières. Ce doit être les restes de la rampe reliant la carrière principale à la pyramide. Ce devait correspondre à la topographie ».

Il suggère, “avec beaucoup de réserve pour le moment”, une large rampe jusqu'à la base de la pyramide, s'entourant en fait autour de la structure croissante, et grandissant avec elle. Les travailleurs auraient hissé les pierres en utilisant de l'eau comme lubrifiant, les auraient mis en place une à une et auraient ensuite élevé la rampe à chaque série de pierres. Un tel concept semble correspondre à la topographie. La longueur et largeur plus importantes d'une rampe faciale aurait finalement recouvert la carrière elle-même. Aucune rampe n'a pu exister au

Nord, où il y a un dénivellement de 120 pieds dans le terrain. Vers l'Est, Koufou construisait les trois plus petites pyramides des reines et, vers l'Ouest, un champ de mastabas, ou tombes rectangulaires, pour les membres privilégiés de la court. Seul une rampe hélicoïdale reposant contre les côtés de la pyramide aurait pu tenir entre celle-ci et les complexes des cimetières adjacents. La Grande Pyramide, à deux tiers de sa hauteur, contenait 96 % de sa masse totale, et ainsi, le plus haut elle montait, le plus court devaient être les portées de la rampe et le moins de matériel il était nécessaire d'acheminer.

Contrairement aux interprétations précédentes, Lehner et d'autres Egyptologues sont sûrs que le revêtement extérieur de la pyramide fut posé lors de sa construction, placé avec précaution mais avec les faces extérieures inachevées. Enfin, quand le sommet était en place, les travailleurs commençaient à redescendre, enlevant leur rampe, habillant les pierres de revêtement pour produire les lignes lisses et continues des faces achevées. La plupart du revêtement a disparu, volé ou tombé au cours des années.



Dessin artistique de restitution du plateau de Gizeh, proposé par M. Lehner

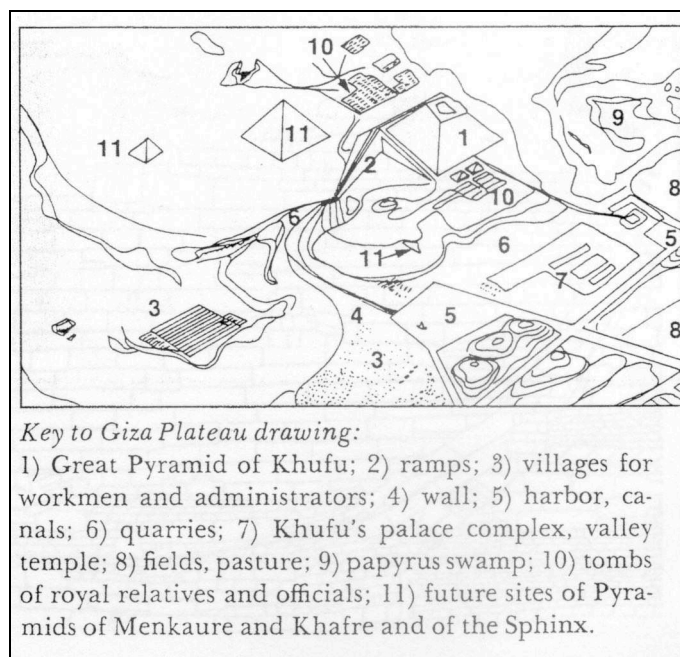


Schéma explicatif du dessin artistique proposé

Affirmation n'est pas démonstration, comment Lehner peut-il affirmer que le revêtement final aurait été posé en même temps que l'érection de l'ouvrage ? Qu'il y soit contraint par sa théorie à « rampe hélicoïdale », puisqu'il ne saurait utiliser une « machine » avec laquelle on pourrait alors construire toute la pyramide, nous comprenons très bien ! La première phrase de cette citation « il suggère, avec beaucoup de réserve pour le moment » devient la preuve de son interprétation préconçue, cette formule de pure forme en est en fait révélatrice.

Stigmates d'extraction

Des douzaines de scientifiques ont tenté d'expliquer comment les Egyptiens mesurèrent si précisément les bases des pyramides et furent capables de gérer le niveau des structures dans leur croissance. Beaucoup de versions ont montré un quadrillage de canaux remplis d'eau au niveau du sol, recouvrant les surfaces sélectionnées pour la base. En marquant les lignes des eaux sur les bords des canaux et en vidant ensuite l'eau des canaux, d'après cette théorie, on pouvait creuser les tranchées d'une profondeur uniforme, retirer la pierre les séparant et ainsi créer une plate-forme de niveau pour la pyramide. Ce système, Lehner fait remarquer, aurait été impossible pour Koufou et Khephren parce qu'en leurs centres se trouvent un noyau de soubassement de 21 à 30 pieds de haut. « *Il est impossible de quadriller ces surfaces; ils ont du travailler autour, de l'extérieur* » dit-il.

Il a trouvé une série de trous ou de cavités régulièrement espacés autour du périmètre de la Grande Pyramide, connectés par des dépressions coupées dans le sol de pierre. Il pense que les géomètres plaçaient des pieux dans les trous, laissaient courir de l'eau dans les dépressions, mesuraient et coupaient les pieux à niveau. Une ligne reliant les sommets aurait formé une référence pour mettre à niveau ainsi que pour aligner et orienter la base (Lehner croit que les constructeurs de Khephren utilisèrent un système similaire, bien que la configuration des trous et des canaux diffèrent quelque-peu).

Un jour, alors qu'il regardait depuis le haut du sommet de la pyramide de Khephren, Lehner remarqua des tranchées taillées dans le sol, en ligne avec les diagonales de la pyramide. Les tranchées semblaient être des réservoirs munis de sortes de vannes par lesquelles l'eau pouvait rentrer ou sortir des dépressions selon les besoins des opérations de nivellement.

« *Ce qui demeure un mystère* », dit Lehner avec une excitation grandissante, « *c'est de savoir comment les pieux et les lignes de référence purent être transférés vers le haut à mesure que la pyramide grandissait, puisque ceux autour de la base auraient été enterrés sous la rampe massive de construction et les tas de débris. Nous avons quelques explications possibles, qui nécessitent plus de recherches* ». Un des buts de l'étude est de dégager les dépressions et les trous et de tenter de reconstruire l'ancien système de levé.

Mark Lehner semble intrigué par les stigmates d'extraction de carrières qu'il pense être dus au nivellement du plateau, ainsi que par les strates constituant des (fausses) assises de Khephren.

En fait, ce qu'il prend pour du « nivellement » n'est autre qu'une partie de la « zone d'emprunt des matériaux » dont il reste les reliquats de carrières à côté (au nord) ; la partie qui se retrouvera sous le revêtement du péribole sera, il est vrai, mieux aplanie pour ce faire.

Pour lui, il aura fallu, dans un premier temps, niveler la plate-forme d'assiette de la pyramide et évacuer ces déblais, pour ensuite passer à la construction

Il nous semble illogique de penser, et on aurait de la peine à le croire, que les matériaux ainsi extraits pour réaliser cette plate-forme horizontale aient été évacués (où ?) et n'aient pas servi de matériaux de construction .

La tête du Sphinx

Mark Lehner s'interroge alors sur la présence du Sphinx et l'interprétation qu'il en donne semble, elle aussi, surprenante. Si le corps est bien, comme le montre son dessin, dans le profil du terrain alentour, qu'en est-il alors de la tête ?

Elle aurait alors été rapportée, mais d'où provient-elle alors ?



La tête du Sphinx aurait-elle été rapportée? Sinon...!

« Le sommet de sa tête se tient maintenant à 78 pieds plus haut que la base sur laquelle son temple se dresse, sous ses pattes. Puisque la figure fut coupé du haut vers le bas dans la base de pierre sédimentaire, une quantité prodigieuse de pierre a du être tailladée tout autour. Lehner [et d'autres avec lui] pense que les carriers ont mis de côté d'énormes blocs pour construire le temple lui-même et en ont hissé d'autres en haut de la pente pour construire la pyramide de Khephren.

Un simple indice, une bande jaunâtre de marne argileuse, s'avéra une clef indispensable. Cette bande était clairement visible passant au travers des épaules du Sphinx constituées par le socle naturel ; on la retrouve également dans les énormes blocs de calcaire utilisé à la construction du temple du Sphinx et peut encore... être facilement localisée le long des murs de la carrière.

“Quand vous avez à faire à des blocs pesant jusqu'à 200 tonnes chacun, il y a peu de chance que vous ne les mélangiez de la carrière aux murs des temples” dit Lehner. “Il était clair que nous pourrions retracer ces pierres jusqu'au site de leur carrière, et retracer d'autres grâce aux fossiles qu'ils contenaient, grâce à leur “empreinte fossile”. Si nous pouvions le faire pour le Sphinx et son temple, nous devrions pouvoir le faire pour les pyramides et leurs carrières : les déconstruire, en fait, et retracer l'origine des pierres” ».

Comment ne pas se rendre compte (pour qui propose d'emprunter les matériaux sur le site) du volume nécessaire à la construction des deux grandes pyramides de Khéops et Khephren, soit au total 6.000.000 de m³, y compris les chutes, qu'il va falloir extraire du plateau de Gizeh ? Comment ne pas appréhender alors les zones d'emprunt alentour (quand on sait qu'il subsiste un noyau de rocher vif en socle des pyramides) comme les carrières ? Comment ne pas comprendre (alors qu'on étudie la géologie des lieux) que l'on peut restituer le plateau « pré-existant », avant la construction des pyramides, d'une façon scientifique et technique, à partir de l'étude de la stratification, de la tectonique, des pendages et de la fracturation naturelle des roches ? Ces blocs de 200 tonnes, dont parle Lehner, au pied de la carrière du temple du Sphinx, ne sauraient être confondus entre carrière et maçonnerie, puisqu'ils ont été détournés, dégagés par la carrière et n'ont jamais été bougés de place !

Enfin, Mark Lehner, comme beaucoup d'autres égyptologues, tourne le regard du côté du ciel, pour expliquer l'orientation des pyramides ; pour lui, elles seraient, contrairement aux autres qui visent telle ou telle étoile (du ciel de l'époque) orientées en fonction du soleil :

Etonnant alignement avec le soleil : « Ce qui impressionne le plus Lehner c'est la façon dont les constructeurs de la Quatrième Dynastie sont parvenus à maintenir leurs parfaits alignements alors même qu'ils exploitaient littéralement le sol sous leurs pieds. “Nous savons grâce à des études archéo-astronomiques qu'il n'est pas difficile d'orienter une structure d'après l'équinoxe ou le solstice. Mais dans le cas du Sphinx, du temple solaire et de la deuxième pyramide, les géomètres devaient projeter cette ligne quand le sol devant être occupé par ce monument existait vraisemblablement à la hauteur de la tête du Sphinx. Ils parvinrent à ne pas être déviés de leurs lignes de levé de référence alors qu'ils creusèrent 70 pieds en profondeur – un sacré accomplissement. »

Dès lors, on ne saurait douter de l'intérêt que Mark Lehner et bien d'autres archéologues ne manqueront pas de porter à notre approche et à notre analyse des caractéristiques géologiques du plateau de Gizeh.

LE GENIE DES PYRAMIDES

RESUME

Les pyramides d'Egypte sont construites de matériaux empruntés alentour. L'analyse des caractéristiques géologiques des sites d'implantation permet d'ordonner et d'expliquer l'évolution des procédés de leur construction qui participent d'un continuum technique de l'Art de Bâtir. La grande pyramide de Kheops, la plus énigmatique du fait de ses dispositifs intérieurs, se trouve être en fait 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 d'éléments de preuve de l'utilisation du procédé « d'accroissement pyramidal », procédé qui corrobore, en tous points, les écrits d'Hérodote demeurés hermétiques jusqu'alors.

THE ENGINEERING OF PYRAMIDS

ABSTRACT

Egyptian pyramids are built with surrounding materials. The analysis of the geological features of their location helps in ranking and explaining the evolution of construction processes, which are participating to a technical continuum in the Art of Building. The « mysterious » Great Pyramid of Kheops reveals, in fact, the process of pyramidal growth and the Great Gallery must be understood as an extraordinary oblique lift. Archaeological observations are providing proofs of the use of this process, which corroborates the writings of Herodotus, remained impenetrable until now.

DISCIPLINE : Génie Civil

MOTS-CLES : Pyramides, Tumulus, Système constructif, Art de bâtir, Continuum technique, Hérodote

Laboratoire Environnement Géomécanique et Ouvrages (Laego) – Ecole des Mines – Parc Saurupt – 54042 Nancy Cedex – France – <http://www.laego.org>