

SCIENCE AAAS SUBMISSION

Article de recherche pour une présentation en ligne

AUTEURS

Pierre CROZAT* PhD.¹ - Chercheur indépendant

Architecte-urbaniste diplômé de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne - EPFL (CH). Docteur en Génie Civil de l'Université de Lorraine (anciennement Institut National Polytechnique de Lorraine) (F). Adresse : 54 Rue du Val d'Amour, 39380 LA LOYE (France)

pierre.crozat@free.fr

et

Prof. Thierry VERDEL PhD.² - Géoressources, Université de Lorraine, CNRS, GRECU, Mines Nancy (F).

Ingénieur en génie civil et minier, docteur en génie civil, professeur à Mines Nancy, école d'ingénieurs.

Adresse : 1, Place Ahmed Orabi, Al Mancheya BP 415, 21111 Alexandrie (Égypte)

thierry.verdel@mines-nancy.univ-lorraine.fr

Collaboration : Le Dr Pierre CROZAT a obtenu son doctorat (2002) sur l'ingénierie des Pyramides sous la co-supervision du Pr. Thierry VERDEL

TITRE

PREUVES GÉOLOGIQUES D'UNE CONSTRUCTION ALGORITHMIQUE DES GRANDES PYRAMIDES

RÉSUMÉ

Nous montrons ici que les grandes pyramides se trouvent au milieu de leur carrière respective, leurs blocs constitutifs étant extraits à leur périmètre immédiat, comme le démontrent les réseaux de fracturation naturelle des roches et la simulation 3D de la paléo-topo-stratigraphie du plateau de Gizeh. La géologie explique également leur emplacement et leur orientation.

La méthode d'augmentation pyramidale proposée consiste à superposer des cônes d'enveloppe successifs (en pelures d'oignon). Les "*machines en bois multipliées et/ou déplacées*" (dixit HÉRODOTE, Ve siècle avant J.-C.) permettent -simplement- de soulever et de poser un bloc sur deux autres. Cette méthode de construction n'est pas du domaine de la géométrie externe (avec des rampes), mais du domaine de la logistique algorithmique interne (mouvement-machine) de la pratique du travail. Le volume pyramidal final correspond aux régularités de la géométrie pré-pythagoricienne.

LE CONTENU DU TEXTE

TITRE.....	1
RÉSUMÉ.....	2
TEXTE.....	3
I. ÉTAT DE L'ART CONCERNANT LES TRAVAUX ANTÉRIEURS SUR LE MODE DE CONSTRUCTION DES PYRAMIDES ÉGYPTIENNES.....	3
1) De nombreux auteurs ont des théories sur la construction des grandes pyramides de Gizeh, de l'antiquité à nos jours : (selon J-Ph. LAUER).....	3
2) Nous avons tenté de décrire le processus de construction des pyramides du point de vue d'un constructeur : recherche de solidité, de facilité et d'économie.....	3
3) Nous présentons une approche différente, scientifique, technique et opérationnelle.....	4
4) Nous mettons en relation les caractéristiques géologiques du site avec la construction.....	5
5) Quelques preuves archéologiques qui corroborent notre vision.....	5
6) En revanche, le raisonnement présenté ici correspond à un profond changement de paradigme : il est basé sur la méthode, appelée " système " par HÉRODOTE :.....	5
II. LE SYSTÈME CONSTRUCTIF DES PYRAMIDES : UNE LOGISTIQUE ALGORITHMIQUE (?).....	6
A. INTRODUCTION : LE PRINCIPE DE LA MÉTHODE.....	6
B. LA CONTRIBUTION ESSENTIELLE D'HÉRODOTE.....	6
C. RECHERCHE SCIENTIFIQUE, TECHNIQUE ET OPÉRATIONNELLE.....	6
D. LA PARTIE DE LA GÉOLOGIE.....	7
E. LES VIDES DÉCOUVERTS PAR LA MISSION SCAN PYRAMIDS DE 2017.....	7
F. COORDINATION MODULAIRE.....	8
G. HYPOTHÈSE ALGORITHMIQUE.....	8
H. COUDÉE DE CHEOPS.....	8
I. PHOTOGRAPHIE & COMMENTAIRE par Z. HAWASS.....	9
J. MODÈLE THÉORIQUE DE LOGISTIQUE ALGORITHMIQUE.....	9
K. COMBINATOIRE DE DEUX ALGORITHMES.....	10
L. SIMULATION DE LA CONSTRUCTION - 2019.....	10
M. CONCLUSION.....	11

TEXTE

I. ÉTAT DE L'ART CONCERNANT LES TRAVAUX ANTÉRIEURS SUR LE MODE DE CONSTRUCTION DES PYRAMIDES ÉGYPTIENNES.

1) De nombreux auteurs ont des théories sur la construction des grandes pyramides de Gizeh, de l'antiquité à nos jours : (selon J-Ph. LAUER)³

a) Théories mystiques :

- Théories bibliques⁴ :
- Théories théosophiques⁵ :

b) Des théories pseudo-scientifiques :

- Théories astronomiques⁶ :
- Théories mathématiques⁷ :

c) Des théories originales, notamment :

- Verrous :
- Pression de l'eau :
- Pierre artificielle :

d) Théories constructivistes :

De manière générale, ces différentes théories tentent de proposer des solutions pour la construction (empilement des strates) par des hommes organisés en groupes de construction (sans intervention de Dieu, de mystères, d'astronomie ou de mathématiques).

Certains d'entre eux, à la suite de DIODORE de Sicile, impliquent des travaux avancés parfois plus importants que la pyramide elle-même (rampes ou écluses).

- Rampes frontales⁸ : Elles reposent sur le mode de transport de grands poids avec des traîneaux glissant sur des rampes constituées de couches de limon, comme le montrent les bas-reliefs égyptiens. Ces rampes peuvent être nombreuses, longues et avec des pentes marquées, selon les auteurs, et pourraient être élevées au fur et à mesure de l'empilement des couches de la pyramide.
- Rampes latérales ou enveloppantes⁹ (externe ou interne) : Basé sur le principe de rampes mises côte à côte, qui se multiplient au fur et à mesure que la pyramide grandit, ou de rampes qui entourent la pyramide, qui sert à son tour de support.
- Pyramides à degrés et degrés supplémentaires¹⁰ pour la rendre lisse¹¹, L. BORCHARDT (1863-1938) : Malgré une vision formaliste et non constructive qui nécessite un énorme travail annexe, le concept de cet auteur de trois chambres (souterraine, du roi et de la reine) a été considéré comme solide et donc repris par de nombreux égyptologues sans autre preuve. ([Fig. S1 : Les 3 chambres de L. BORCHARDT](#)).

e) Machines d'accrétion et de levage :

- Toutes les œuvres précédentes s'inspirent de la forme finale des pyramides.
- **En revanche, nous nous intéressons à la méthode de construction qui, à son tour, génère la forme.**
- Certains auteurs, à la suite d'HÉRODOTE, recherchent un système d'accrétion et des machines à lever les blocs, sans décrire, toutefois, un processus constructif logique. De plus, ils ne déterminent pas l'origine des matériaux (carrières), par exemple, la description d'un noyau central de hauteur totale¹² entouré de murs de hauteur décroissante.

2) Nous avons tenté de décrire le processus de construction des pyramides du point de vue d'un bâtisseur : recherche de solidité, de facilité et d'économie.

En revanche, dans cet article, nous proposons un système de croissance pyramidale algorithmique¹³ : Nous avons basé notre proposition sur les révélations historiques d'HÉRODOTE et notamment sur un passage du livre IV qui décrit un mode de levage avec des machines en bois, et un processus d'accrétion basé sur le mouvement des machines. A partir d'un noyau primaire, les constructeurs ont créé une succession de cônes enveloppants faits de blocs de pierre locale extraits autour de l'édifice, dans des carrières horizontales, par phases successives de volumes correspondants. ([Cf. 1 : CV de P. CROZAT RECHERCHE 2017](#))

Nous avons basé notre travail sur :

- a) HÉRODOTE (450 av. J.-C.) : sa description du mode de fonctionnement de la machine faite de courtes pièces de bois contient une solution : un véritable "système" constructif représentant un saut technologique et conceptuel, l'aboutissement du continuum technologique des tumulus funéraires.
- b) STRABO (1^{er} siècle av. J.-C.) : « *En visitant les pyramides, nous avons observé un fait extraordinaire qui mérite, nous semble-t-il, d'être mentionné. Il s'agit d'un grand amas de tessons de pierre qui couvre le sol devant les pyramides. Il suffit de chercher dans ces amas pour trouver de petites pétrifications ayant la forme et la taille d'une lentille, reposant parfois sur un lit d'autres débris (pétrifiés eux aussi), qui ressemblent à des épluchures de légumes en demi-coquille* » dit le géographe grec, qui s'intéresse aux pierres des pyramides et reconnaît les "lentilles" (calcaire éocène : Nummulites du Lutétien).
- c) K.R. LEPSIUS (1810-1884) : il a été le premier à mettre en relation le volume de la pyramide et la durée du règne du pharaon.
- d) A. CHOISY (1841-1909) : auteur d'une "Histoire de l'architecture" (1899), il a étudié les techniques de construction depuis l'Antiquité, dont "L'art égyptien de bâtir" (1904). Il avait l'intuition d'une méthode de construction par enveloppes successives. Cependant, il n'a pas développé et démontré le système constructif complet, ce que nous avons tenté de faire.
- d) M. Serres (1939-2019) : historien des sciences et des techniques, Dans "Les origines de la géométrie" (Paris 1993) décrit une période spécifique d'évolution pré-pythagoricienne en Égypte qu'il appelle "logistique ou algorithme" et qui, pour nous, correspond au saut technologique et conceptuel que constitue la période de construction des cinq grandes pyramides lisses. ([Cf. 2 : Le génie des pyramides - Condensé](#))

3) Nous présentons une approche différente, scientifique, technique et opérationnelle.

- a) notre expérience de constructeur ne peut admettre aucune "théorie rampiste" qui nécessite des travaux annexes beaucoup trop lourds, comme par exemple :
 - la création d'une plate-forme horizontale par le déblaiement d'un grand volume de matériaux (que faire avec, où les placer ?),
 - la construction par "assises horizontales" (de plus en plus réduites) qui nécessite une annexe (rampe) de pierre ou de terre qui, dans le cas de la rampe frontale, est plus importante que la future pyramide elle-même, et qui devra ensuite être démontée (double travail),
- b) Commençons par le point de vue du constructeur : en tant que constructeurs expérimentés, nous avons compris la valeur technique et opérationnelle du système constructif décrit par HÉRODOTE.
- c) Le niveau technologique de la préparation des blocs et la précision des joints indiquent une maîtrise très avancée (presque contemporaine) du savoir-faire des métiers de la pierre.

- d) Il s'agit du principe vernaculaire qui consiste à emprunter les matériaux constitutifs de l'œuvre dans l'environnement immédiat¹⁴, à les empiler en forme conique, puis à continuer à construire à partir du centre, avec des cônes pyramidaux enveloppants qui créent l'accrétion du volume. La pyramide se trouve en fait au milieu de sa propre carrière, avec de nombreux blocs prédimensionnés par la fracturation naturelle. Cette interprétation est typique de la technologie de l'époque et s'inscrit dans le continuum des œuvres tumulaires du Néolithique.

4) Nous mettons en relation les caractéristiques géologiques du site avec la construction.

Les égyptologues et archéologues n'ont pas pris en considération les matériaux, la géologie (structure et stratigraphie), la géologie des ingénieurs (étude de la fracturation naturelle de la roche), le modelage ou l'évolution de la méthode constructive qui crée la forme, ni l'interaction entre la pyramide et sa carrière.

- a) M. LEHNER et Z. HAWASS : Dans le rendu topographique et géologique du site (Mapping Project on the Giza Plateau, 2005), ils n'ont pas tenu compte des avantages de la photogrammétrie, ni de l'importance de la géologie (structure et stratigraphie), ni de l'importance de la géologie de l'ingénieur (processus naturel de fissuration de la roche) que nous avons observée sur le site à l'époque. L'Institut géographique national de Paris a utilisé la photogrammétrie dès les années 1960 pour créer un orthophotoplan du plateau de Gizeh.
- b) les pyramides à degrés sont construites avec des pierres manu-portables (petit appareil) fournies par le gisement de l'Éocène supérieur de leur site et avec la méthode constructive "par degrés". ([Fig. S2 : Pyramides à degrés](#))
- c) la photographie de la grande fouille de Zaouiet el Arian montre en surface la couche de l'Éocène supérieur et, en dessous, les couches de l'Éocène moyen et inférieur : bien que le sarcophage ait été installé, cette pyramide n'a jamais été construite. Datée de la IVe dynastie (par G. A. REISNER), elle appartient plutôt à la IIIe dynastie comme le suggèrent sa fosse et la stratigraphie du site. ([Fig. S3 : Zaouiet el Arian](#))
- d) les grandes pyramides sont construites avec des "blocs cyclopéens" provenant du dépôt de l'Éocène moyen de leur site et par la méthode constructive appropriée des "bancs successifs" (voir plus loin). ([Fig. S4: Grandes pyramides lisses](#))
- e) La preuve définitive est fournie par les 3 pyramides d'Abousir (pyramides à degrés avec ajout de degrés, pour les rendre lisses) qui, datées de la Cinquième dynastie (donc après les grandes pyramides de grand appareil), utilisaient l'ancienne méthode des "degrés" imposée par le gisement de l'Éocène supérieur (petit appareil). ([Fig. S5 : Pyramides d'Abousir](#))
- f) Les pyramides à texte (du type de celle d'Ounas à Saqqarah - VIe dynastie) sont devenues "symboliques", constituées de blocs cyclopéens sur la périphérie (pierres d'appui de l'Éocène moyen) et d'un opus incertum interne de l'Éocène supérieur. La partie importante n'est que la chambre funéraire avec le sarcophage, le ciel étoilé peint et les Textes de la Pyramide. ([Fig. S6 : Pyramides à textes](#))
- g) Les pyramides en briques. ([Fig. S7 : Pyramides en briques](#))
- h) Notre analyse est corroborée par la thèse scientifique de M. WISSA¹⁵ (1995).
- i) En fait, c'est le dépôt sous-jacent du site des pyramides qui impose la méthode constructive appropriée. La méthode, à son tour, génère la forme. En d'autres termes, la forme des pyramides n'est pas un jeu de style mais le résultat de la méthode.
- j) L'approche géométrique architecturale (héritée des Grecs) est restée inopérante depuis DIODORE jusqu'à aujourd'hui, c'est-à-dire pendant 2 500 ans, car elle n'était pas adaptée aux bâtiments réalisés 2 200 ans plus tôt.

5) Quelques preuves archéologiques qui corroborent notre vision

- a) La pyramide rhomboïdale se trouve au centre de sa propre carrière, comme le montre la photo de M. BRIDGES (*Egypt : Antiquities from above*, Little, Brown and company, Boston.) ([Fig. S8 : Pyramide rhomboïdale](#)).
- b) Les 5 grandes pyramides (la pyramide rhomboïdale (Dasher Sud), la pyramide rouge (Dasher Nord), et les 3 pyramides de Gizeh) sont constituées de blocs parallélépipédiques, disposés en boutisse, (c'est-à-dire que leur longueur est perpendiculaire à la face observée). ([Fig. S9 : Disposition des blocs "à l'arrière"](#)).
- c) Les blocs du sommet de la pyramide de Khéops présentent des arêtes visibles qui ont été beaucoup perturbées par diverses démolitions, fractures et renouvellements. Néanmoins, pour chaque bloc taillé, on peut voir l'“appareillage horizontal en encorbellement”, le plus économique selon A. CHOISY ([Fig. S10 : Sommet de la pyramide de Khéops](#)).

6) En revanche, le raisonnement présenté ici correspond à un profond changement de paradigme : il est basé sur la méthode, appelée “système” par HÉRODOTE :

Très ancien, il a dû être recréé étape par étape dans son application à la pyramide. Ce système de raisonnement, appelé “Logistique Algorithmique” a besoin d'un support concret.

Elle nécessite l'apprentissage du cheminement algorithmique théorique, et sa confrontation permanente avec la réalité concrète et opérationnelle, et le savoir-faire des travaux de la pierre. (Cf. 3 : [Accroissement pyramidal : Simulation - 1996](#))

II. SYSTÈME CONSTRUCTIF DES PYRAMIDES : UNE LOGISTIQUE ALGORITHMIQUE (?)

A. INTRODUCTION : LE PRINCIPE DE LA MÉTHODE

Les grandes pyramides d'Égypte sont des constructions humaines qui appartiennent au continuum technique des édifices tumulaires majeurs et mineurs ([Fig. 1](#)) qui, dans le monde entier, sont construits en fonction de la taille et du poids des matériaux locaux, et selon les techniques (à la main, avec des échafaudages, avec des machines de levage, avec des moteurs d'élévation) disponibles au moment de leur érection, ou en raison des circonstances. Cette analyse explique l'évolution des méthodes constructives qui produisent et génèrent la forme spécifique de ces œuvres. Le passage des pyramides à degrés aux grandes pyramides à gradins lisses n'est pas seulement une variation de forme, mais le résultat même de la méthode choisie.

B. LA CONTRIBUTION ESSENTIELLE D'HÉRODOTE

Le premier historien, HÉRODOTE d'Halicarnasse (Ve siècle avant J.-C.), a décrit très précisément le mode opératoire de l'empilement des blocs de la pyramide de Khéops, avec un système de gradins successifs (mais non de marches), appelés alternativement *bomides* ou *crossai* (il en existe plusieurs versions). *Bomides* signifiant “table” (notion d'entablement) et *crossai* “corbeau” (notion d'encorbellement), deux concepts complémentaires, un peu techniques, appartenant au domaine de la construction, que les traducteurs, hellénistes à l'esprit littéraire, n'ont pas bien compris et interprété, la construction ne faisant pas partie de leurs compétences ([Fig. 2](#)). Cette description est assez précise et efficace, méritant d'être développée.

Les visiteurs ultérieurs, héritiers de la culture grecque, et pratiquant une vision géométrique (THALÈS déjà), les égyptologues, archéologues et pyramidologues ultérieurs sont tombés sur ce texte et ont tenté de percer le mystère de la construction des pyramides selon l'autre description, donnée par DIODORE de Sicile (1er siècle après J.-C.) et mentionnant des levées de terre (rampes) ([Fig. 3](#)), qui représentent pourtant plus de travail que la pyramide elle-même, et doivent être démolies par la suite. Depuis cette période de l'Antiquité, toutes sortes de solutions de rampes ont été proposées, sans

jamais montrer de preuves plausibles, et les solutions invoquant des machines sont restées quasi absentes.

C. RECHERCHE SCIENTIFIQUE, TECHNIQUE ET OPÉRATIONNELLE

L'analyse et la compréhension du texte d'HÉRODOTE ont ouvert un nouveau champ d'investigation sur le mode de construction des pyramides d'Égypte, basé sur trois domaines :

a) La recherche sur l'évolution des méthodes de construction des ouvrages tumulaires, dont les grandes pyramides d'Égypte, appartient au domaine technique de l'art de la construction.

b) Découverte par un professionnel expérimenté, elle offre de nouvelles perspectives, contrairement aux nombreuses théories interprétatives et personnelles inspirées par des prétextes religieux ou narratifs. Elle suit un parcours rigoureux comprenant hypothèse, recherche et développement, vérification et expertise, expérimentation et simulation, vérifiables à chaque étape.

c) C'est dans la description du mode de fonctionnement de la machine capable de soulever et de placer un bloc d'une couche sur la suivante que se trouve le savoir-faire du travail de la pierre qui s'est en partie maintenu jusqu'à nos jours.

La recherche présentée dans ce document est structurée en 24 phases d'hypothèses successives, selon un parcours logique basé sur la logistique de la construction, à partir de l'expérience personnelle, de l'intuition, de l'observation, de l'étude, de la compréhension qui a commencé en 1990 devant le Sphinx, avec un défi lancé au professionnel de la construction : "Comment construirais-je une pyramide ?".

- 1) Hypothèse des principes des techniques vernaculaires et de l'économie d'effort : on construit avec des matériaux pris dans l'environnement immédiat, d'où le choix d'un site capable de les fournir et selon la technique disponible.
- 2) Hypothèse du "château de sable" : comment créer un grand tas ? Commencez par un petit tas et trouvez comment augmenter sa taille ([Fig. 4](#)).
- 3) Hypothèse de construction avec escaliers¹⁶, puis recherche et analyse du texte d'HÉRODOTE suivie d'une modélisation dessinée à la main, puis infographique, de l'empilement ([Fig. 5](#)) (voir l'[animation infographique en annexe](#)). Mise au point du système d'"accrétion pyramidale", avec des cônes-enveloppes empilés et démonstration du rôle utilitaire de la grande galerie ([Fig. 6](#)) de la pyramide de Khéops : une extraordinaire rampe de levage oblique, capable de hisser à leur destination les 50 monolithes de granit de la chambre du roi, sur un faisceau de plans inclinés créés par le système lui-même. Ainsi, la pyramide la plus énigmatique se trouve être la plus révélatrice du système constructif des grandes pyramides¹⁷ d'Égypte.

D. LA PARTIE DE LA GÉOLOGIE

4) Application de l'ancien principe vernaculaire, c'est-à-dire l'emprunt des matériaux aux alentours mêmes de la construction érigée au centre, via des phases successives correspondantes : la pyramide est donc au milieu de son site d'extraction, à chaque étape, ce qui implique l'étude géologique et pétrographique du site d'érection.

5) Étude des caractéristiques géologiques du plateau de Gizeh (origines, structure, stratigraphie, érosion karstique) montrant que le plateau de Gizeh est un pli anticlinal d'axe NE/SO (Nord 45°) avec deux réseaux de discontinuités¹⁸ : le principal fait de joints parallèles et transversaux et le secondaire, diagonal au précédent (alpha delta droite et gauche ([Fig. 7](#))). Ce cadre de joints diagonaux (fermés) dicte l'orientation de l'exploitation des carrières horizontales et inclinées, aujourd'hui comme hier, et donc l'orientation des

pyramides elles-mêmes. Les trois pyramides de Gizeh sont donc orientées par la géologie¹⁹. Pour preuve, des tectoglyphes striés orientés E/W ont été découverts sur la face nord du lit rocheux de la pyramide de Chephren en 2005 ([Fig. 8](#)).

6) Le Sphinx est un reste de carrière (le plateau a été creusé tout autour de lui ([Fig. 9](#)) où l'on peut lire la stratigraphie²⁰ et la pente du plateau ([Fig. 10](#)). Sa tête appartient à la même couche (a) (auversienne) que le deuxième étage de la tombe de Khent-Kawes et le temple haut de Chéphren. La pyramide de Chéphren a emprunté ses matériaux à une seule couche stratigraphique appelée (g) "pierre de construction" de 12 mètres d'épaisseur, qui a fourni une pierre de bonne qualité, dense et facile à exploiter.

7) La simulation 3D (GoCAD)²¹ de la paléo-topo-stratigraphie du plateau de Gizeh avec l'orthophotoplan²² comme fond constitue une approche nouvelle ([Fig. 11](#)). Elle a permis de situer les trois pyramides au sein de la stratigraphie : Celle de Mykérinos au niveau 75 m ; celle de Chéphren au niveau 70 m ; celle de Chéops au niveau 60 m ([Fig. 12](#)) Chaque pyramide a utilisé des couches géologiques de plus en plus profondes, avec des niveaux de dureté et de densité différents, ce qui explique leurs différents états de conservation.

8) La pyramide de Khéphren étant construite avec la seule couche de pierre de construction (g), assez dense mais un peu fragile, présente une grande régularité à sa base, et dans ses blocs et leur assemblage, mais aussi une forte érosion ([Fig. 13](#)) perceptible sur plusieurs des cônes d'enveloppe. Ce type d'érosion n'existe pas sur la pyramide de Khéops, car ses cônes-enveloppes proviennent de la couche inférieure (f) à 4 m, de la couche (e) à 5 m et d'une partie de (d), qui sont beaucoup moins réguliers mais beaucoup plus résistants à l'érosion. Seule l'enveloppe finale est en calcaire de Tura, sur la rive gauche du Nil, et elle a disparu à cause de l'érosion et du pillage humain, comme celle de Chéphren, en partie seulement.

9) Dans la pyramide de Khéops, la chambre de la reine semble située sur le plateau préexistant²³, au centre et au début de la construction de la pyramide, et au centre et au début des carrières périphériques sub-horizontales, comme l'indique la coupe médiane (N/S), malgré une pente NW/SE d'environ 3,2%.

E. LES VIDES DÉCOUVERTS PAR LA MISSION SCAN PYRAMIDS DE 2017

10) L'existence des grands et petits vides dans la pyramide de Khéops, découverts par la mission Scan Pyramids²⁴ n'a pas été expliquée jusqu'à présent par les égyptologues²⁵ ([Fig. 14](#)).

En revanche, les recherches sur le mode de construction des pyramides permettent une interprétation prudente²⁶, basée sur la statique et la résistance des pierres : les vides pourraient représenter un système de protection de la grande galerie et du couloir ascendant qui devait rester fonctionnel au moins jusqu'à la mise au tombeau du roi, alors que la pyramide n'était qu'à moitié construite.

11) Cette interprétation prudente suggère qu'il s'agit d'un conduit en relief, placé au-dessus de la fragile grande galerie et du couloir ascendant, pour les protéger. Ce conduit est constitué de boisseaux horizontaux faits de chevrons ([Fig. 15](#)), dont le rôle statique serait de répartir la charge (de la future pyramide non encore construite) de chaque côté du corps déjà construit. Une image de ce système prudent de distribution de la charge est visible sur la face Nord, avec les deux chevrons superposés au-dessus de l'entrée - résultat de cette cheminée de décharge ([Fig. 16](#)), qui montrent l'organisation combinatoire des boisseaux superposés sur la pente.

12) L'existence des vides a relancé notre approche constructiviste. En effet, l'utilisation d'une "*machine faite de courtes pièces de bois*" pour le levage (un levier sur un trépied appelé Chadouf en Égypte), dont le mouvement de la machine constitue un algorithme : un algorithme physique concret simple de levage, consistant à soulever un bloc pour le placer sur deux autres, avec un appui nécessaire pour réaliser l'action (comme décrit 24

siècles plus tard par ARCHIMÈDE). Nos recherches ont développé cette vision dès 1996²⁷. Cette approche prend en compte l'utilisation coordonnée de la carrière et de l'érection de la pyramide, ainsi que la réalisation simultanée des aménagements intérieurs de la pyramide. Notamment les mal nommés "girdlestones" qui sont des piliers successifs dont le rôle est de bloquer la grande galerie et de l'empêcher de glisser, puisque ses blocs de sol sont disposés en pente et non horizontalement. ([Cf.4 : Lettre ouverte à Scanpyramids](#))

F. COORDINATION MODULAIRE

13) Il a rendu nécessaire la recherche d'une coordination modulaire et d'un rythme de progression PYR /CAR (Pyramide/Carrière). Nous avons utilisé une conception théorique avec un plan carré où le centre, foyer commun de la pyramide et de la carrière pour chaque phase d'accrétion, se trouve au niveau (0), sur le sol préexistant, et le sommet au niveau (6) ; le sol d'extraction se trouve au niveau (-1), générant une accrétion pyramidale volumique, avec un rapport de 7, que ce soit en plan ou en élévation, quel que soit le rapport entre la hauteur et la demi-base²⁸ ([Fig. 17](#)).

G. HYPOTHÈSE ALGORITHMIQUE

14) Cette hypothèse algorithmique se compare assez favorablement avec les relevés de MARAGIOGLIO & RINALDI (1965) et de DORMION (1996), et avec les données stratigraphiques ([Fig. 18](#)) :

- a) La chambre de la reine est située sur la couche (g) (12 m) à 21 m (niveau (0)).
- b) Le couloir ascendant traverse les limites des couches (g) (12 m) et (f) (4-5 m) à l'endroit même où apparaît le "bloc de pierre local" ;
- c) Il descend à travers cette couche (f) (4-5 m) jusqu'à sa limite avec la sous-couche (e) (également 4-5 m), où il rejoint le couloir descendant qui traverse cette couche et la suivante (d) (également à 5 m), etc. La limite entre (c) et (d) correspond à l'extrémité de la maçonnerie construite dite "passage des voleurs", au fond de la grotte qui marque le niveau final de prélèvement dans la carrière et le début des blocs construits au pied de la pyramide.
- d) On retrouve la couche de galets dans laquelle la grotte a été creusée sur le talus, au-dessus, au pied de la Mastaba G 2000, dégagée par la carrière du talus.
- e) La sape Al-Ma'moun a été creusée au fond de la couche (f) (4-5 m) ; son plancher horizontal appartient à la couche inférieure (e) (5 m).

15) Le double concept de "Logistique ou Algorisme" (M. SERRES²⁹, 1993) confirme l'ensemble de la solution mécaniste. Il était en usage lors de la construction des grandes pyramides et a joué un rôle majeur dans l'apparition de la géométrie en Grèce, 2 000 ans plus tard. La métrique des anciens Égyptiens a été mal comprise et rejetée par les Grecs³⁰.

H. COUDÉE DE CHEOPS

16) Les égyptologues³¹ ont déterminé une unité de mesure à appliquer aux pyramides, appelée coudée. Mais au niveau théorique, tant la taille de l'unité que le rapport entre la hauteur et la base de la pyramide n'ont aucune influence sur ce qui génère l'accrétion pyramidale. L'accrétion ne dépend que du plan, et du jeu algorithmique établi par les anciens géomètres (Harpedonapts, ou brancardiers). Une telle logistique de construction algorithmique est nécessaire pour tout bâtiment et à toute époque. Elle est évidente dans les trois grandes pyramides, et particulièrement dans celle de Chéphren ([Fig. 19](#)).

Il faut examiner les règles des professionnels de la pierre³² (carriers, tailleurs, positionneurs, etc.) pour comprendre le processus. Il faut également examiner l'orientation de l'extraction de la pierre en fonction du réseau diagonal, la profondeur et la

largeur des tranchées anthropométriques, les moyens techniques pour détacher les blocs, la découpe de la base de la pierre dans les blocs, etc. comme le montrent les traces laissées in situ. Ces pratiques opérationnelles sont encore utilisées de nos jours dans les dernières carrières de pierre manuelles d'Égypte (Fig. 20).

17) En résumé, les solutions des rampes sont toutes basées sur la vision géométrique postérieure héritée des Grecs. Mais les pyramides ont été construites par le savoir faire antérieur, que nous appelons logistique algorithmique, et en représentent la démonstration concrète³³.

I. PHOTOGRAPHIE & COMMENTAIRE par Z. HAWASS

18) Les photographies aériennes de la pyramide de Chephren (M. BERTINETTI) publiées par NGS³⁴ et par WhiteStar³⁵ sont toutes très intéressantes, mais la plus révélatrice (Fig. 21) mérite une attention particulière³⁶ en raison du commentaire qui l'accompagne (p.59) : « **Sommet de la pyramide de Chephren en calcaire fin de Tura. La maçonnerie de soutènement apparaît ici régulière, sous le parement, mais la profondeur des blocs et des marches varie considérablement. Les fragments de la maçonnerie porteuse adhèrent au noyau plus bas, après enlèvement du parement** ».

Cette affirmation ne tient pas compte de la désintégration naturelle des blocs calcaires par l'érosion. De même, le terme "maçonnerie porteuse" ne correspond pas à 99% du volume de la pyramide : elle constitue et génère sa forme. Cette vision formaliste se concentre sur la surface et ne comprend pas que les fragments sont provoqués par le glissement des cônes enveloppants érodés, dégageant celui que l'on observe : on peut en voir quatre ou cinq sur une photographie de l'ensemble, en comptant leurs ombres saillantes (Fig. 13). Sous ce cône enveloppant appelé ici "maçonnerie porteuse", il en existe beaucoup d'autres à partir du noyau de la pyramide³⁷.

La simulation 3D de la paléo-topo-stratigraphie du plateau de Gizeh explique la régularité et la normalisation des blocs de la pyramide de Chéphren. Ils ont été prélevés uniquement dans la couche (g), c'est-à-dire la "pierre de construction", à l'exclusion de toute autre couche (Fig. 10). Cette observation d'origine géologique entraîne d'autres du même type, qui expliquent à leur tour l'irrégularité des blocs de la pyramide de Khéops, prélevés dans les couches sous-jacentes (f) et (e) et la présence d'un noyau très régulier au cœur de la pyramide de Khéops, là où se trouvent précisément tous les dispositifs internes (chambres de la reine et du roi, couloirs ascendants, grande galerie et cheminée de décharge). La régularité algorithmique permet assez précisément leur exécution.

De même, la stratigraphie explique la qualité et la couleur de la pyramide de Mykérinos et du second niveau de la tombe de Khent-Kawes, ainsi que la tête du Sphinx et le sommet des massifs du temple haut de Chéphren, tous issus de la couche auversienne (a) (surface partielle "on-lap" du plateau).

La pyramide de Chephren est plus parfaite que celle de son père, Cheops. L'analyste soucieux de la construction trouve étrange que les égyptologues la considèrent comme la plus simpliste, et nous pensons que lorsqu'elle sera soumise à la muographie, une nouvelle découverte sera faite.

19) On voit une différence fondamentale entre les commentaires qui se concentrent sur la surface des pyramides et l'étude "de l'intérieur" résumée ici. L'approche du constructeur est nécessaire et donne lieu à des solutions nouvelles. Elle doit être prise en compte et débattue au niveau mondial de la culture scientifique et technique. Une expertise internationale pourrait être menée, indépendamment des protagonistes actuels, car les pyramides égyptiennes appartiennent au patrimoine mondial, à l'histoire des civilisations, à l'histoire de la construction (géologie, ingénierie, génie civil, mines et carrières), à l'histoire des sciences et des mathématiques.

20) La pyramide se trouve au centre de sa carrière : le principe vernaculaire (P. CROZAT, 1997) consistant à emprunter à l'environnement immédiat pour empiler et amasser au centre a été corroboré par la simulation paléo-topo-stratigraphique. Des études supplémentaires sont nécessaires sur la coordination dimensionnelle et quantitative des blocs à travers chaque phase de l'accrétion pyramidale. Il faut également une coordination modulaire de la correspondance Pyramide/Carrière.

Il faut rechercher les surfaces et profondeurs de la carrière, à l'exception des tranchées d'extraction, qui correspondent au volume et au nombre des cônes enveloppants examinés. Théoriquement, elles devraient représenter une progression géométrique, en volume, pour atteindre la phase finale de la pyramide avant son nettoyage, le nettoyage consistant à casser les arêtes des marches du dernier cône enveloppant en calcaire fin de Tura : « *la pyramide était terminée en commençant par le sommet et les degrés inférieurs (et non les marches) jusqu'à la base de l'édifice* », dit HÉRODOTE. La pyramide est enfin achevée et "morte" puisqu'il n'y a plus de support pour poser les blocs de *crossai*.

J. MODÈLE THÉORIQUE DE LOGISTIQUE ALGORITHMIQUE

21) La solution proposée par cette recherche sur la coordination modulaire entre la pyramide et la carrière est basée sur un réseau de tranchées d'extraction d'une largeur d'une coudée "royale" (la largeur du carrier) isolant des blocs carrés de 6 coudées dans les deux directions du réseau diagonal secondaire créé par la fracturation naturelle des roches (voir ci-dessus partie 5) hypothèse géologique). Ce réseau est diagonal par rapport à l'axe NE/SW du pli anticlinal du plateau de Gizeh, c'est-à-dire N/S et E/W :

- a) On obtient ainsi 6 blocs de 2x3 coudées pour chaque face de la pyramide, également orientés N/S-E/W. Le dessin axial de ce réseau carré de tranchées est donc de 7 coudées. Le rythme théorique de croissance proposé ici est d'un lit d'extraction "négatif" (1n) dans la carrière fournissant les blocs (2x3 coudées) nécessaires à l'empilement de six lits "positifs" (6p) construits "en pile de charge", c'est-à-dire un empilement triangulaire pseudo-symétrique, tel que défini par le système de construction présenté.
- b) L'ensemble de la construction se déroule ainsi pour chaque cône enveloppant s'emboîtant sur le précédent : 2 lits négatifs fournissant les blocs nécessaires à l'empilement de 12 positifs, puis 3 négatifs pour 18 positifs, etc. (Fig. 22).
- c) La recherche "théorique" d'un "algorithme" (pas à pas) dessinant l'extraction concrète des blocs Car. (Fig. 23) demande une coordination avec l'empilement "pile-up" des blocs Pyr. Ces blocs sont pseudo-normalisés car ils sont imposés par le mode d'extraction manuel (et par la grille de la tranchée) et le mode de manutention-transport limité (au plus économique). Il faut réapprendre ce mode de raisonnement ou de logique constructive dicté par l'algorithme fourni par la "machine-mouvement" qui impose sa logistique rigoureuse (Fig. 24).
- d) In fine, quelle que soit la hauteur des couches, les blocs doivent être extraits, déplacés et installés manuellement, par la multiplication [1n (négatif) + 6p (positif) = 7] de l'accrétion pyramidale proposée. Chacun des cônes enveloppants, au final, aura toujours 7 fois la hauteur de sa carrière, même si les bancs d'assise ne sont pas très réguliers; d'où la nécessité-invention d'un assemblage horizontal avec des évidements³⁸, que l'on peut observer partout.

22) Le moment le plus marquant de la partie vérification de cette recherche a consisté (Fig. 25) à superposer les dessins imposants des aménagements intérieurs (selon les rendus de DORMION, 1996) avec les dessins colorés des strates de la carrière (colorés pour suivre facilement la logistique imposée par l'algorithme), sur une coupe N-S de la pyramide de Khéops, à une échelle de 1/200e - 5 mm/mètre. On constate alors que l'ensemble des aménagements intérieurs (chambres du roi et de la reine, couloir ascendant, grande galerie et cheminée de décharge) et les conduits de ventilation relèvent de la même logistique algorithmique proposée par les constructeurs. Par ailleurs, l'arrêt des conduits de ventilation de la chambre de la Reine, à 63 m du centre, pourrait

correspondre à une phase d'accrétion de la pyramide de Khéops d'une autre origine (emprunt à l'Ouest au niveau (g) de la pierre de construction).

Dans cette première pyramide intérieure régulière, nous avons pu modéliser en détail la progression de la croissance pyramidale qui crée la voie d'accès aux deux voussoirs symétriques de chaque chevron constituant les bouchons de la cheminée de décharge "prudente" sur la grande galerie. Nous proposons donc une seconde utilisation, leur érection simultanée, pour "l'extraordinaire ascenseur oblique", dont la fonction première est de mettre en place le monolithe de la chambre du roi.

K. COMBINATOIRE DE DEUX ALGORITHMES

23) Les photographies de M. BERTINETTI sont toujours de grande qualité, mais elles sont aussi d'un grand intérêt pour notre thèse, car elles permettent une analyse détaillée et approfondie. Celle qui montre le sommet de la pyramide de Chephren a été colorisée par nos soins pour une meilleure compréhension. Elle montre un nouvel algorithme de recouvrement, ignoré jusqu'à présent, qui se combine avec l'algorithme de construction de l'accrétion pyramidale modélisé depuis 1997.

La différence entre ces deux algorithmes est la suivante ([Fig. 26](#)) : pour la construction, les blocs ont été placés en boutisses, alors que pour le recouvrement ils ont été placés en panneresses, qui permettent le croisement des blocs angulaires sur les bords, d'une assise à l'autre. Cette observation archéologique, accessible à tous de nos jours, implique définitivement la solution de la logistique algorithmique pour les grandes pyramides.

L. SIMULATION DE LA CONSTRUCTION - 2019

24) Suite aux différentes simulations partielles déjà réalisées (1996, 2001 et 2005, dans le site de P. CROZAT (www.crozat.faiivre.ml)), la simulation filmée de la construction de la grande pyramide de Khéops est maintenant presque terminée ([Fig. 28](#)). Cependant, sa réalisation nécessite compétence, collaboration, moyens techniques, logistiques et financiers. Le système d'accrétion pyramidale qui a été développé, à partir du texte d'HÉRODOTE, engage le domaine de la logistique algorithmique et correspond parfaitement au concept de système autorégulateur développé par Edgar Morin³⁹. Il doit être pris en compte et débattu.

M. CONCLUSION

Pour conclure cette communication sur le système constructif des pyramides, il n'y a là rien de sacré, de mystérieux ou d'irrationnel. Il ne s'agit pas non plus d'une "géométrie", apparue en Grèce 2 000 ans plus tard, contrairement à ce qui est couramment affirmé. Il s'agit d'un "système approprié" ([Fig. 27](#)) basé sur la Logistique Algorithmique, dont l'existence à l'époque des pyramides a été authentifiée par Michel Serres - 1993.

Jusqu'à présent, personne n'avait pris en compte la géologie : genèse, structure, stratigraphie, **géologie de l'ingénieur** (réseaux de fracturation naturelle des roches) alors que c'est elle qui explique rationnellement le positionnement et l'orientation des trois grandes pyramides de Gizeh ; on n'avait pas non plus étudié la méthode d'extraction des carrières en couches subhorizontales, ni ses traces évidentes, observables par tous et on n'avait pas non plus discuté de l'évolution de la méthode utilisée au sein du Continuum technique des édifices tumulaires.

L'observation purement extérieure de la forme des pyramides ne saurait éclairer le fait que la forme de la pyramide est l'expression même de la méthode utilisée, elle-même adaptée à la taille et au poids du matériau local fourni par l'environnement immédiat, d'où le choix d'un site adéquat. ([Cf. 5 : Lettre circulaire à mes Pairs 2018](#))

In fine, au-delà des différences de temps, d'espace et de civilisation, observons cette photographie du creusement d'un canal, à la main, en RPC, au moment de la Révolution culturelle de Mao Zedong, pour la réadaptation sociale ([Fig. 29](#)). C'est la technique archaïque qui nous intéresse, la seule utilisable en l'absence de moteurs mécaniques. Sans conteste, elle remonte aux premières civilisations agraires des grands fleuves (Igharghar, Triton, Indus, Tigre et Euphrate, Nil, Huang HO, etc.) et aux ouvrages hydrologiques de contrôle des crues et d'irrigation, éléments structurants primordiaux de la constitution des premiers États.

Pour notre thèse, elle représente une belle illustration de la Logistique Algorithmique, bien que spatialement inversée vis à vis des pyramides. Ainsi, dans la province de Shaanxi, vers 2 300 av. J.-C., de nombreuses pyramides de terre ont été érigées (tombes) où l'on peut voir où le matériau a été prélevé, autour d'elles. Cela représente un lien direct "ontologique" entre la carrière et la pyramide. ([Fig. S11 : Pyramides de Shaanxi-PRC](#)).

* * *

REMERCIEMENTS

Sans l'aide précieuse de mes amis, cette communication n'aurait pu avoir lieu :

Mme Soroor GHANIMATI, Ph.D., architecte et archéologue à NES/UC-Berkeley, USA, pour avoir suivi mes recherches et suggéré de les publier,

Mme Brigitte BERTHIER, professeur d'informatique, Lycée Pasteur de Dole, France,
M. Bruno HOSTALERY, ingénieur ESTP- Paris, France, Infographiste et programmeur,
Lausanne, Suisse,

M. Patrick FAIVRE, architecte DPLG, pour son aide dans la recherche de documents, à
Lyon, France,

Mme Françoise ZURIF, Ph.D., pour la traduction et les conseils en matière de rédaction
scientifique, La Loye, France.

Liste des matériaux supplémentaires

1) **Références citées uniquement dans le SM** :(Cf.#).

Cf.1:[CV de P. CROZAT Chercheur](#)

Cf.2 :[Le génie des pyramides - Condensé](#)

Cf.3:[Accroissement pyramidal : Simulation - 1996](#)

Cf.4:[Lettre ouverte à Scanpyramids](#)

Cf.5:[Lettre circulaire à mes Pairs - 2018](#)

2) **Publications** : Les publications produites au fur et à mesure de l'avancement de cette recherche ont été déposées ou/et publiées, suivant la liste non exhaustive suivante :

- "SYSTÈME CONSTRUCTIF DES PYRAMIDES" 1996-97 - Ed. Canevas (F) et (CH) - ISBN 2-88382-064-3
- "Le Génie des Pyramides" 2002 - Ed. Dervy - Les lieux de la tradition - Paris - ISBN 2-84454-161-5
- Publication de la thèse de doctorat "Le génie des pyramides" soutenue en 2002 dans la revue Civil Engineering.

3) **Examens et sites de dépôt pour les chercheurs** :

- POUR LA SCIENCE, édition française de SCIENTIFIC AMERICAN, N° 265 novembre 1999, rubrique Perspectives Scientifiques, page 14, intitulé : "*Rampes ou enveloppes ? : de nouvelles hypothèses remettent en cause l'utilisation des rampes pour la construction des pyramides d'Égypte*".
- Journal officiel de la National Geographic Society, vol. 2.4, N° 7, avril 2000, rubrique GEOGRAPHICA, intitulé : "*NOUVELLES HYPOTHÈSES SUR LA CONSTRUCTION DES PYRAMIDES ÉGYPTIENNES* " par Anne HEBERT.
- *SYSTÈME CONSTRUCTIF DES PYRAMIDES* : de la géologie à l'édification (P. CROZAT et Th. VERDEL) 2002 /JNGG et ResearchGate.
- "*Les grandes pyramides*", Ed. Publi-Topex / Ordre des Géomètres - Experts, revue "mesure & grands chantiers - 4000 ans d'histoire" - 2002. Revue du Palais de la découverte - Paris : DÉCOUVERTE N°343 DÉCEMBRE 2006 - Article de P. CROZAT intitulé "*le génie des pyramides*"- 2006.
- Journal de l'Association Ouvrière des Compagnons du Devoir du Tour de France - AOCDTF / Paris.

4) **Dépôts sur : Academia.edu-ResearchGate- Pyramidales**

- Diaporama Espace des Sciences de Paris
- Animation Pyramide
- CV PC CHERCHEUR
- CV- PC SEARCHER
- Résumé 2017
- COMMUNIQUÉ 2017
- Invitation numérique CULTNAT
- Ingénierie des pyramides (digest)
- Le Génie des Pyramides
- LETTRE OUVERTE
- LETTRE OUVERTE
- Lettre Circulaire à mes Pairs - en français
- COMMUNIQUÉ 2019

5) www.crozat.favre.ml

RÉFÉRENCES ET NOTES

Tableau 1 : (Fig. #.) Figures

Fig. 1 : Photographie du tumulus de Maes Howe de l'île d'ORKNEY (ORCADES).....	14
Fig. 2 : Textes de Diodore de Sicile (-50 av. J.-C.) et d'HÉRODOTE d'Halicarnasse (- 450 av. J.-C.) sur la construction de la pyramide de Khéops : étude comparative et explicative.....	15
Fig. 3 : Illustrations des différentes théories "rampiste" et "machiniste".....	16
Fig. 4 : Développement du système machiniste : Croissance pyramidale par P. CROZAT (1997)	17
Fig. 5 : Modèles manuels et informatiques successifs de l'accroissement pyramidal.....	18
MODÉLISATION : ANTICIPATION DES PLANS INCLINÉS.....	18
Fig. 6 : Le rôle utilitaire de la Grande Galerie de la pyramide de Khéops comme "extraordinaire ascenseur oblique" capable de hisser les 54 monolithes de la Chambre du Roi.....	19
Fig. 7 : Géologie : genèse et structure du plateau de Gizeh.....	20
GÉOLOGIE : TECTONIQUE ET STRATIGRAPHIE.....	20
Fig. 8 : Tectoglyphes visibles sur le socle rocheux à l'angle nord-ouest de la pyramide de Chephren.....	21
Fig. 9 : La tête du Sphinx appartient à la couche (a) auversienne (plus sombre) du plateau de Gizeh.....	22
Fig. 10 : Stratigraphie du plateau de Gizeh, établie par J. CUVILLIER en 1930.....	23
Fig. 12 : Simulation 3D de la paléo-topo-stratigraphie du plateau de Gizeh - sections diagonales de la pyramide de Khéops : la chambre de la reine est placée sur le plateau original.....	25
Fig. 13 : Pyramide de Chephren : plusieurs enveloppes coniques de la croissance pyramidale sont visibles en raison de l'érosion.....	26
Fig. 14 : Diagramme du positionnement des grands et petits vides découverts dans la pyramide de Kheops par les Muographes japonais en 2017.....	27
Fig. 15 : Axonométrie de la cheminée de décharge "précautionneuse", proposition d'interprétation de P. CROZAT - Lettre ouverte 10/11/2017.....	28.
Fig. 16 : Les 2 chevrons superposés à l'entrée de la pyramide de Khéops sont l'aboutissement de la cheminée de décharge.....	29
Fig. 17 : Logique algorithmique sur un plan : Coordination modulaire des 6 premières phases.	30
Fig. 18 : Tracé régulateur de la pyramide de Khéops confronté aux relevés in situ des architectes MARAGIOGLIO& RINALDI et de G. DORMION.....	31
Fig. 19 : Vue rapprochée de la pyramide de Chéphren "qui transpire l'Algorisme".....	32
Fig. 20 : Carrières d'extraction manuelle au 21e siècle en Égypte.....	33
Fig. 21 : Commentaire sur la photographie du sommet de la pyramide de Chephren publiée par le Dr. Z. HAWASS dans son album "Treasures of Pyramids" (p.59).....	34
Fig. 22 : Schéma de coordination (plan et coupe) de la relation Carrière-Pyramide.....	35
Fig. 23 : Coordination modulaire : phases successives d'emprunt à la périphérie même de la Carrière.....	36
Fig. 24 : Coordination modulaire : les phases successives de l'augmentation pyramidale.....	37
Fig. 25 : Superposition des dispositifs intérieurs de la pyramide de Khéops (d'après G. DORMION) sur le dessin (coloré) de la "Logistique Algorithmique", mettant en évidence leur conjonction..	38
Fig. 26 : Les 2 algorithmes combinés de la Pyramide de Chephren.....	39
Fig. 27 : E. MORIN "Introduction à la pensée complexe".....	40
Fig. 28 : La modélisation cinématique de la construction du modèle "théorique" de logistique algorithmique a commencé. (P. CROZAT & B. HOSTALERY -2020).....	41
Fig. 29 : Un exemple de logistique algorithmique : Creusement d'un canal sous Mao Zedong...	42

TABLEAU 2 : (Fig. S#.) Matériaux supplémentaires

Fig. S1 : Les 3 chambres de la pyramide de Khéops par L. BORCHARDT :.....	43
Fig. S2 : Pyramides à étages.....	44
Fig. S3 : Grande fouille de Zaouiet el Arian (IIIe ou IVe dynastie).....	45
Fig. S4 : Grandes pyramides lisses.....	46
Fig. S5 : Pyramides d'Abousir.....	47
Fig. S6 : Pyramides de texte.....	48
Fig. S7 : Pyramides en briques (XIIe dynastie).....	49
Fig. S8 : Pyramide rhomboïdale.....	50
Fig. S9 : Disposition des blocs "à l'arrière".....	51
Fig. S10 : Sommet de la pyramide de Khéops.....	52
Fig. S11 : Pyramides de Shaanxi - RPC. CQFD.....	53

Fig. 1 : Photographie du tumulus Maes Howe dans les Îles ORKNEY (ORCADES)

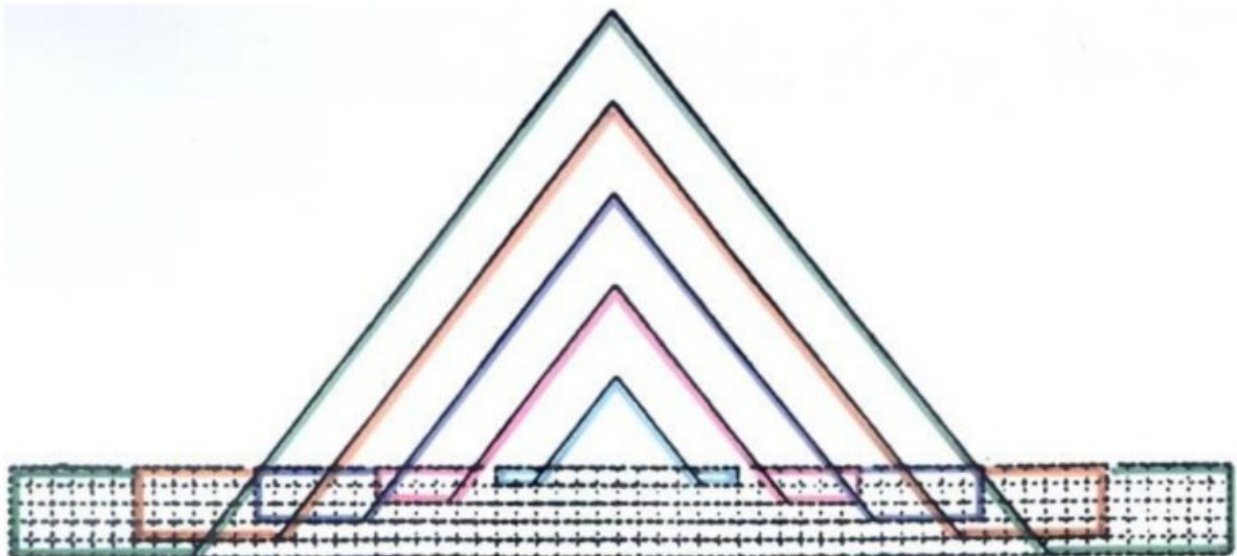
PRINCIPE DE CONSTRUCTION « VERNACULAIRE » des OUVRAGES TUMULAIRES de l'ANTIQUITÉ

(issu du Néolithique)

les matériaux sont empruntés au pourtour-même de l'ouvrage



TUMULUS MAES HOWE dans les Iles ORKNEY (Scotland) 3200 BC / National Geographic 2014



TOUS LES OUVRAGES TUMULAIRES du Monde CONSERVERONT CE MEME PRINCIPE quelle que soit leur METHODE CONSTRUCTIVE, jusque et y compris les GRANDES PYRAMIDES d'EGYPTE.

ILLUSTRATION DU PRINCIPE « VERNACULAIRE »:

Schéma en COUPE sur la PYRAMIDE de KHÉOPS

Construction par phases successives de cônes-enveloppes emboîtés l'un sur l'autre à partir d'emprunts successifs en Carrières horizontales (correspondance volumique)

0 a

Fig. 2 : Textes de Diodore de Sicile (-50 av. J.-C.) et Hérodote d'Halicarnasse (- 450 av. J.-C.) sur la construction de la Pyramide de Cheops : étude comparative et explicative.

Hérodote ou Diodore de Sicile

Diodore de Sicile, Naissance des Dieux et des Hommes, Livre I § 63 (- 50 av JC)

« 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 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 terminée au bout de vingt ans. »

Texte d'Hérodote, l'Enquête, Livre II, § 124-125 (-450 av. JC)

« Voici comment on construisit cette pyramide, par le système des gradins successifs que l'on appelle tantôt **krossaï**, (corbeaux), tantôt **bomides**, (plate-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 en-dessous, l'un après l'autre et l'on finit par les gradins inférieurs et la base de l'édifice. »

D'après le dictionnaire Bailly

« **bômides** » : à l'origine PETIT AUTEL, par extension SOCLE, PIEDESTAL, PLATE FORME élevée, TABLE, ENTABLEMENT (pierre d'appui sur laquelle poser quelque chose)

NOTION D'ENTABLEMENT

« **krossas** » : CORBEAU, (pierre faisant saillie)

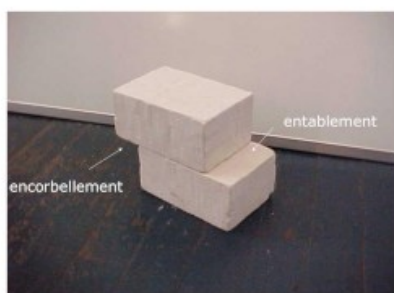
NOTION D'ENCORBELLEMENT

tantôt – tantôt : alternance de dénomination
au cours de la construction suivant le rôle du bloc

En fait,

TOUS LES BLOCS SONT APPELES « CROSSAÏ » QUAND ILS GRIMPENT LE CRENEAU EN ESCALIER, ILS DEVIENNENT « BOMIDES » UNE FOIS POSÉS A LEUR PLACE, SERVANT ALORS D'APPUI AU « CROSSAÏ » SUIVANT.

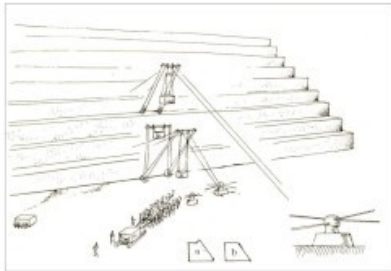
« SYSTEME CONSTRUCTIF » SIMPLE, purement ADDITIONNEL, REPETITIF, RECURRENT: « un créneau formant escalier » (Bailly)



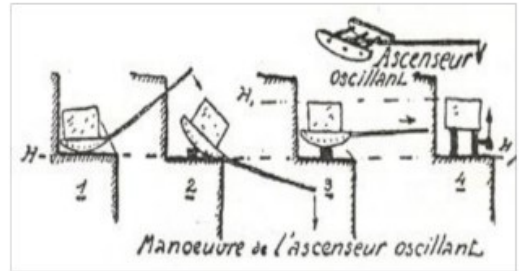
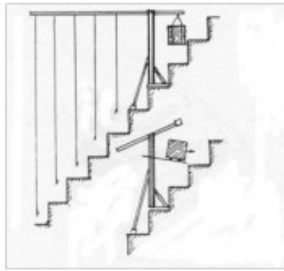
Bômides-dessous, krossas-dessus : monter un bloc krossas sur deux blocs bômides = l'algorithme

Fig. 3 : Illustrations des différentes théories "rampistes" et "machinistes"

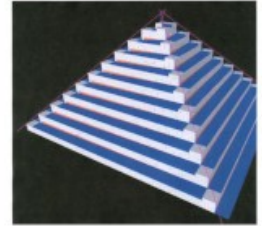
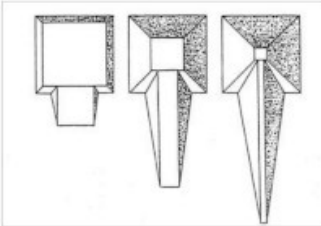
Les différentes « théories » constructives



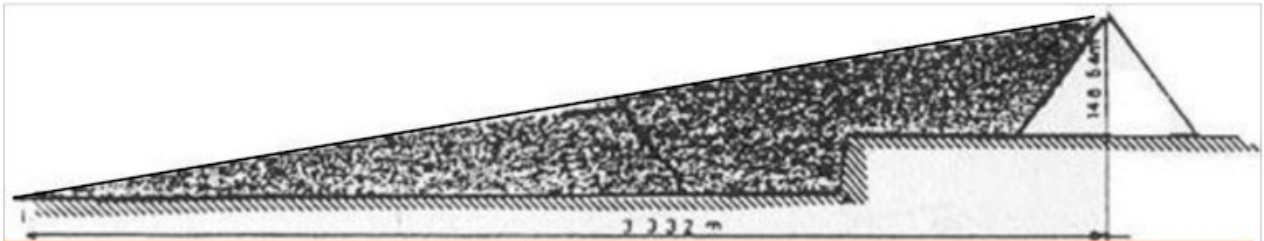
MACHINISTES : Chèvre Straub-Roessler, élévateur de Croon,



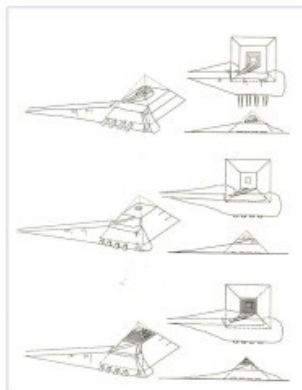
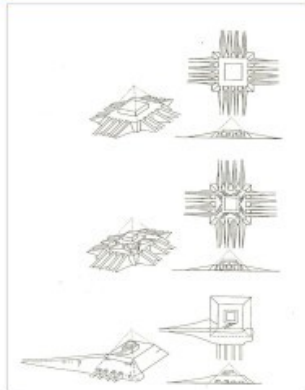
ascenseur oscillant de Legrain et Choisy



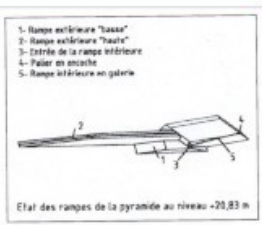
RAMPISTES Rampe frontale J-Ph. Lauer, hélicoïdale G. Goyon, zigzag Hampigian, engagée D. Arnold, intégrée JP Petit



PROBLEMES ! Les rampes « levées de terre » nécessitent beaucoup plus de travail (et démolition) que la pyramide



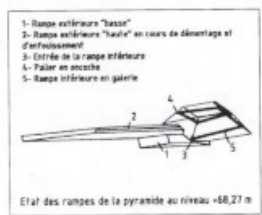
Etat des rampes de la pyramide au niveau +7,06 m



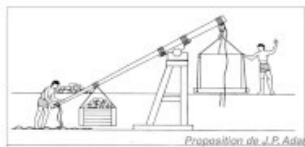
Etat des rampes de la pyramide au niveau +20,83 m



Etat des rampes de la pyramide au niveau +43,11 m

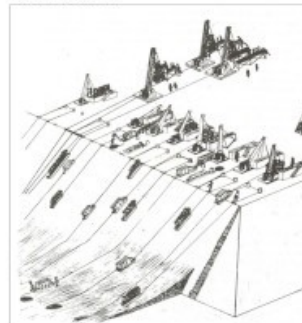


Etat des rampes de la pyramide au niveau +68,27 m



Machine de JP. Adam

MIXTE: rampiste puis machiniste R. Stadelman, JP. Adam



Etat des rampes de la pyramide au niveau +115,25 m



Etat des rampes de la pyramide au niveau +146,79 m

FANTAISISTES: Écluses Mingez; traîneaux L. Albertelli; rampe droite et rampe hélicoïdale intérieure JP & H. Houdin

Fig. 4 : Développement du système machiniste : Accroissement pyramidal par P. CROZAT (1997)

Système d'accroissement pyramidal

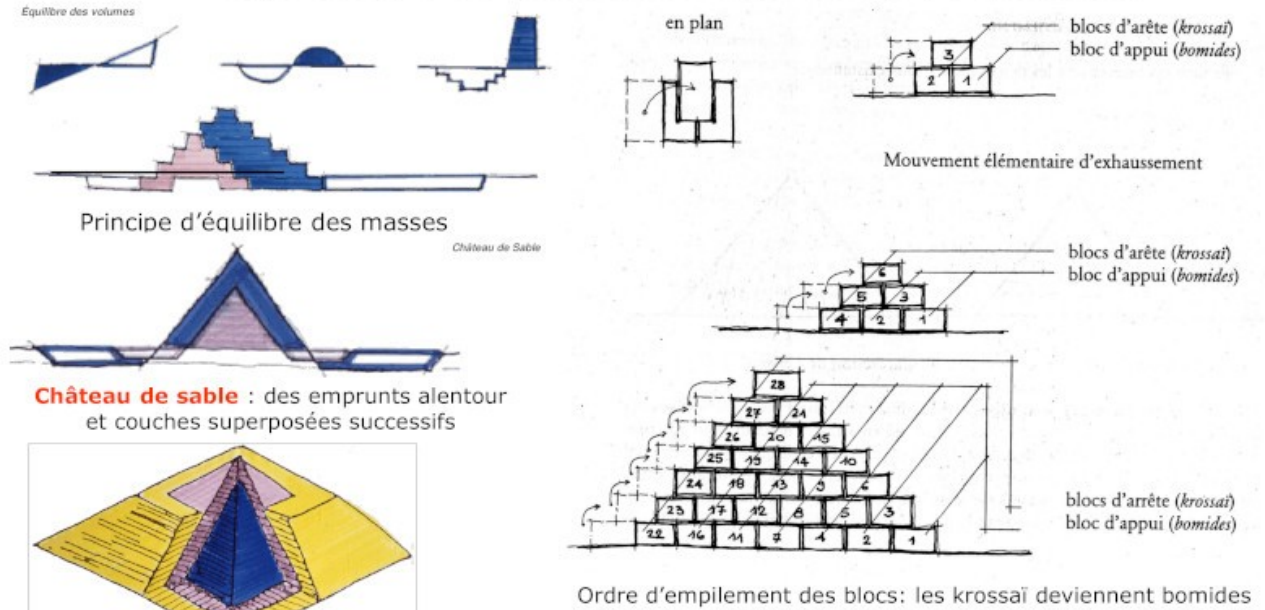
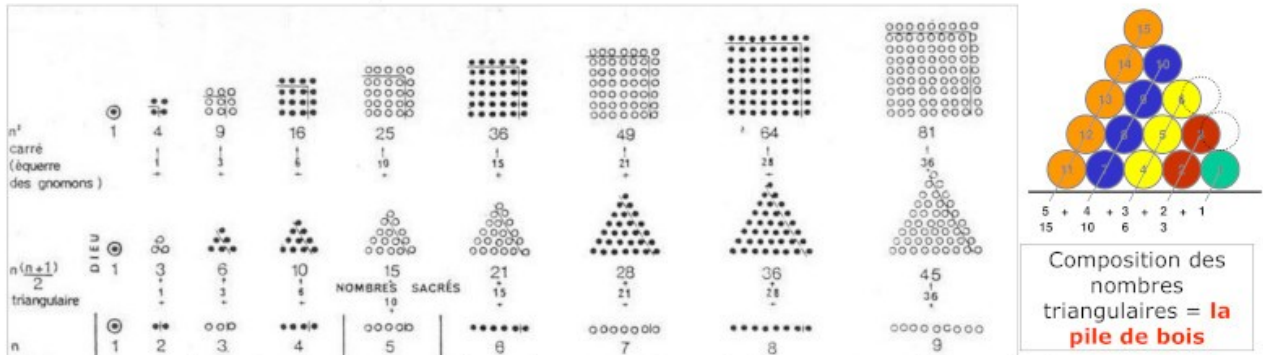
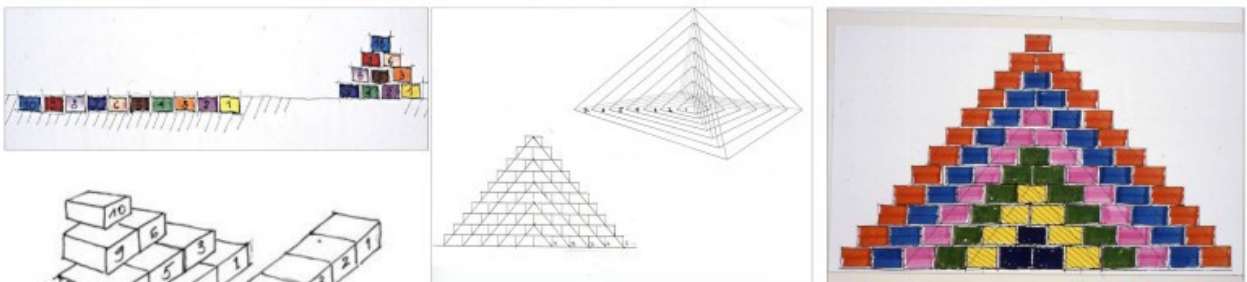


Schéma d'accroissement A. Choisy



Séries des nombres figurés dits « sacrés » de PYTHAGORE: linéaires, triangulaires, carrés...etc...



Les différentes enveloppes successives s'emboîtent l'une sur l'autre

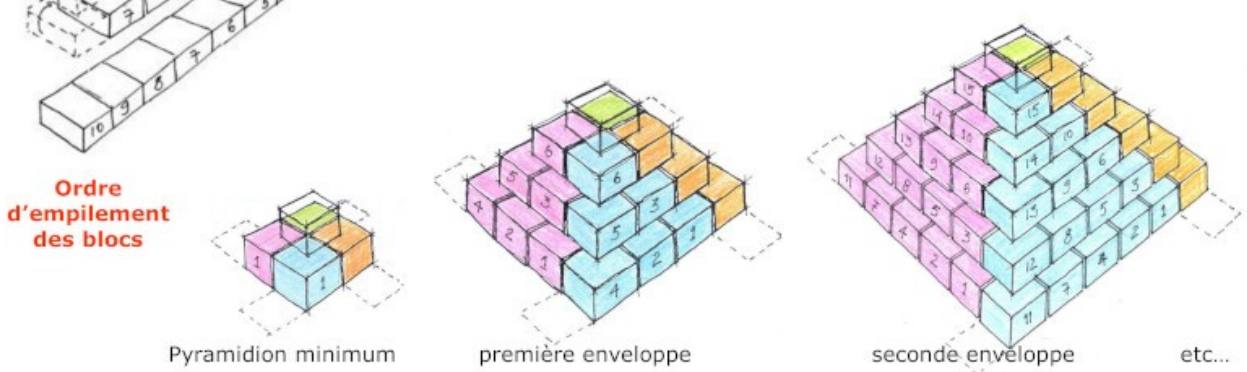
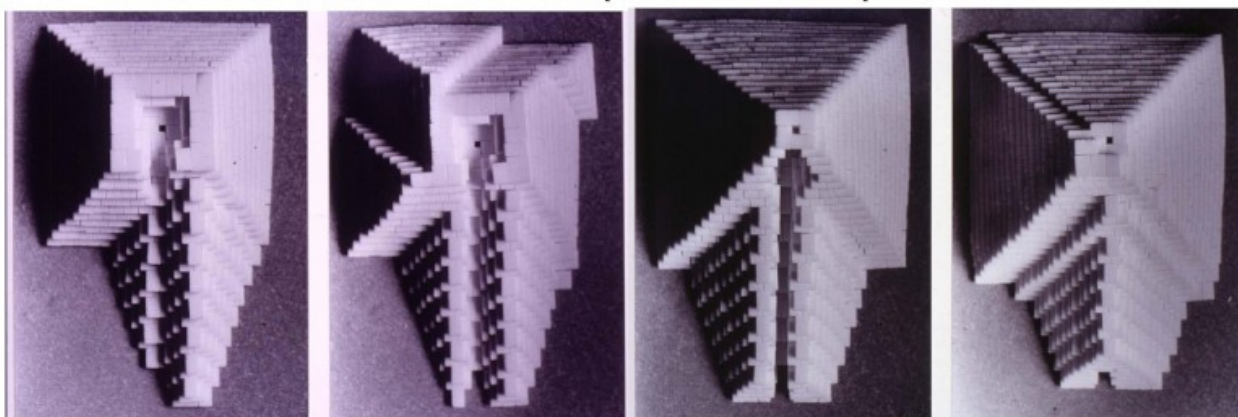


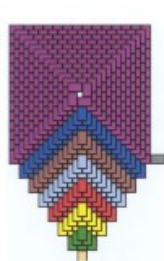
Fig. 5 : Modèles manuels et informatiques successifs de l'accroissement pyramidal.

MODÉLISATION : ANTICIPER LES PLANS INCLINÉS

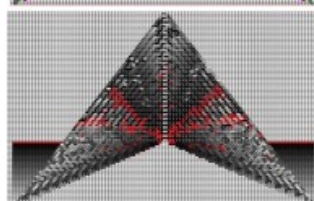
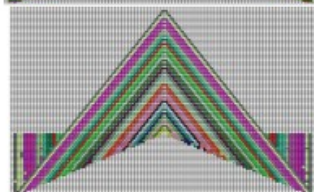
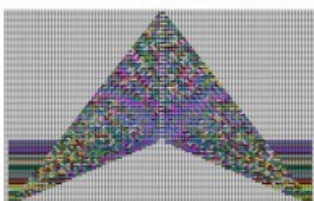
Modélisations : anticipation de plans inclinés



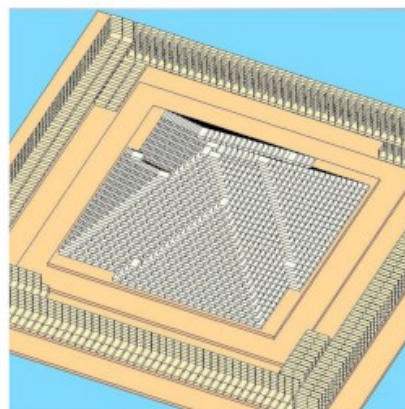
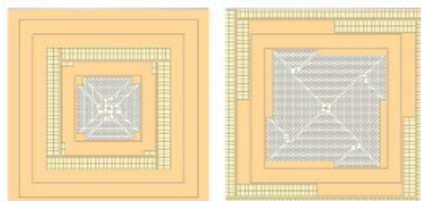
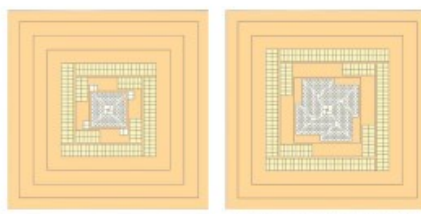
Première expérimentation - modélisation avec des morceaux de sucre



Modélisation infographique 1997 (Bruno Hostaléry)



Intelligence artificielle



Simulation informatique Carrière - Pyramide S. Hensgen ENSMN 2002

Fig. 6 : Le rôle utilitaire de la Grande Galerie de la pyramide de Khéops comme un "extraordinaire ascenseur oblique" capable de hisser les 54 monolithes de la Chambre du Roi

Pyramide de Chéops: Grande Galerie

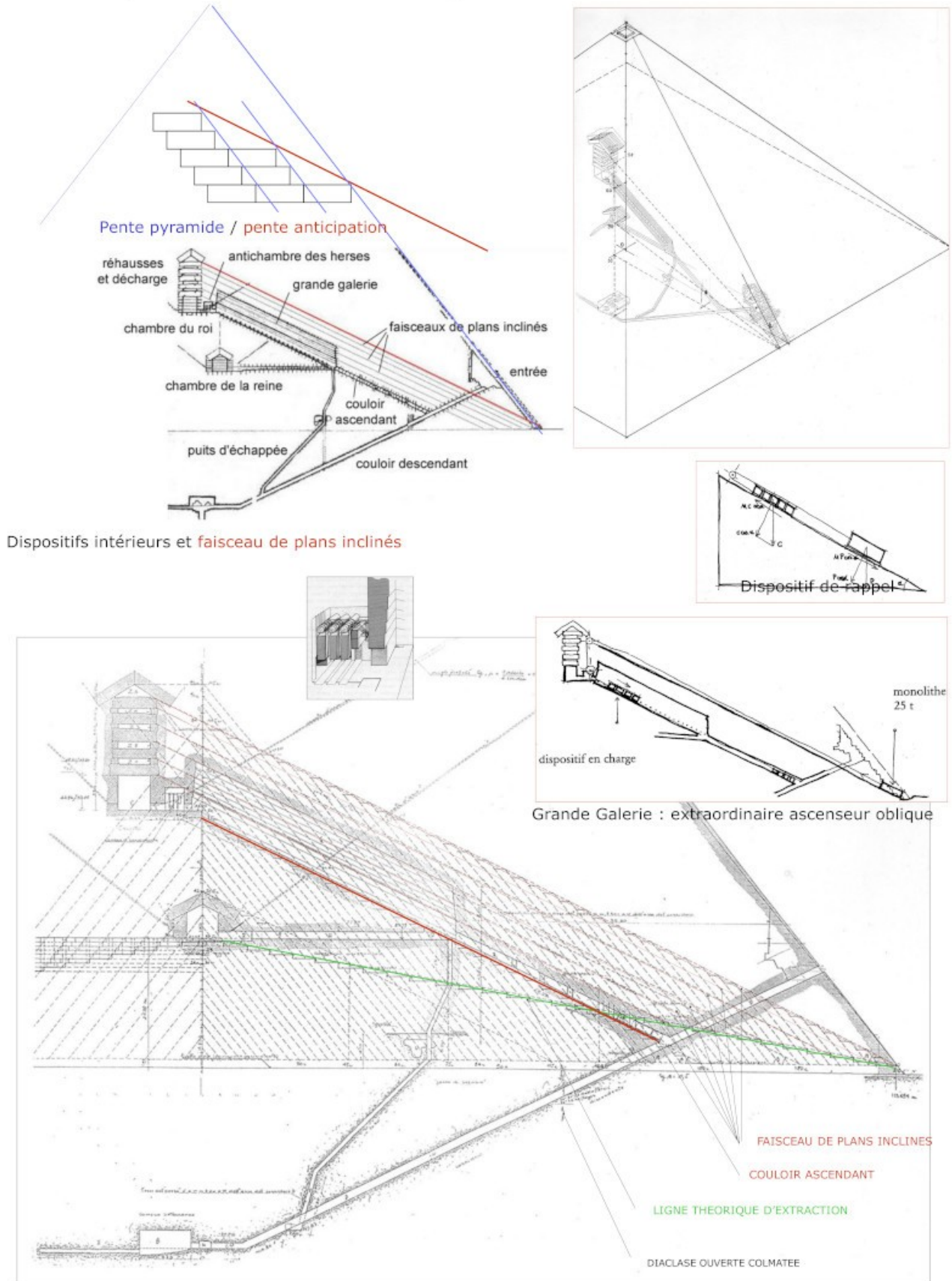
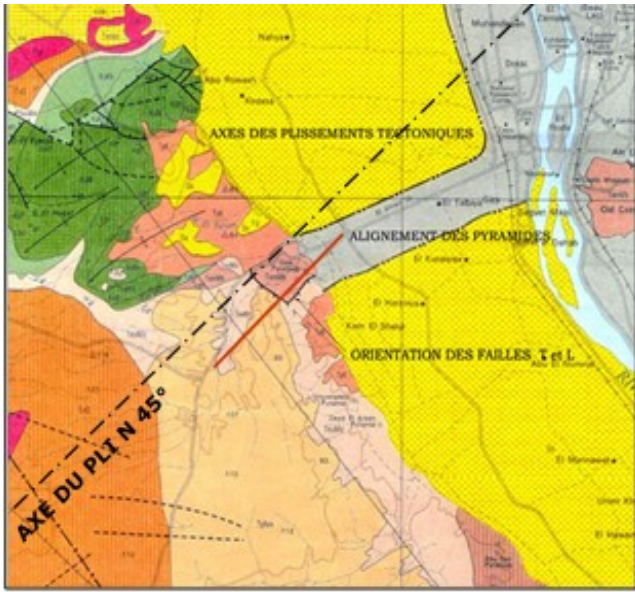
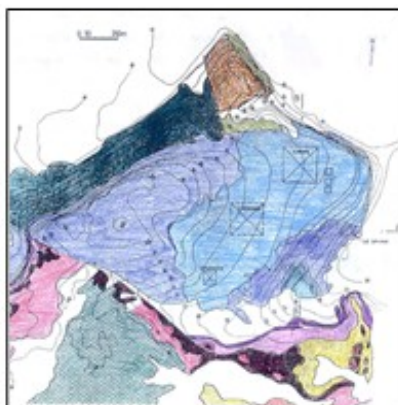


Fig. 7 : Géologie : genèse et structure du plateau de Gizeh

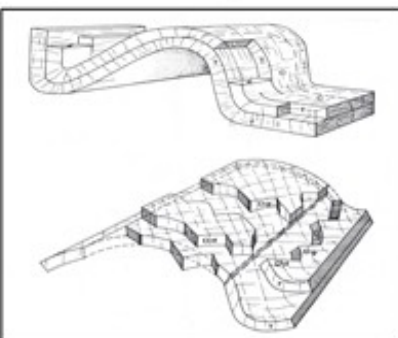
GÉOLOGIE : TECTONIQUE ET STRATIGRAPHIE



DARD FACIES	
[Color]	1st Sandstone, ...
[Color]	2nd Sandstone, ...
[Color]	3rd Sandstone, ...
[Color]	4th Sandstone, ...
[Color]	5th Sandstone, ...
[Color]	6th Sandstone, ...
[Color]	7th Sandstone, ...
[Color]	8th Sandstone, ...
[Color]	9th Sandstone, ...
[Color]	10th Sandstone, ...
[Color]	11th Sandstone, ...
[Color]	12th Sandstone, ...
[Color]	13th Sandstone, ...
[Color]	14th Sandstone, ...
[Color]	15th Sandstone, ...
[Color]	16th Sandstone, ...
[Color]	17th Sandstone, ...
[Color]	18th Sandstone, ...
[Color]	19th Sandstone, ...
[Color]	20th Sandstone, ...
[Color]	21st Sandstone, ...
[Color]	22nd Sandstone, ...
[Color]	23rd Sandstone, ...
[Color]	24th Sandstone, ...
[Color]	25th Sandstone, ...
[Color]	26th Sandstone, ...
[Color]	27th Sandstone, ...
[Color]	28th Sandstone, ...
[Color]	29th Sandstone, ...
[Color]	30th Sandstone, ...
[Color]	31st Sandstone, ...
[Color]	32nd Sandstone, ...
[Color]	33rd Sandstone, ...
[Color]	34th Sandstone, ...
[Color]	35th Sandstone, ...
[Color]	36th Sandstone, ...
[Color]	37th Sandstone, ...
[Color]	38th Sandstone, ...
[Color]	39th Sandstone, ...
[Color]	40th Sandstone, ...
[Color]	41st Sandstone, ...
[Color]	42nd Sandstone, ...
[Color]	43rd Sandstone, ...
[Color]	44th Sandstone, ...
[Color]	45th Sandstone, ...
[Color]	46th Sandstone, ...
[Color]	47th Sandstone, ...
[Color]	48th Sandstone, ...
[Color]	49th Sandstone, ...
[Color]	50th Sandstone, ...

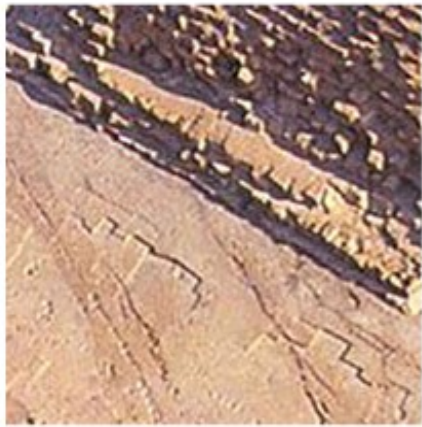


Lutetian Eocene Deposit in blue



Natural fracturing system of rocks of an anticlinal fold (M. RUHLAND (1972))

1. Faults or large diaclasses : ΔL and ΔT , longitudinal (parallel) and transverse (perpendicular) at the axis of the fold (wide network)
2. Small diagonal diaclasses Δdr and Δdl , due to shear (metric network) determining the unit blocks of quarry.



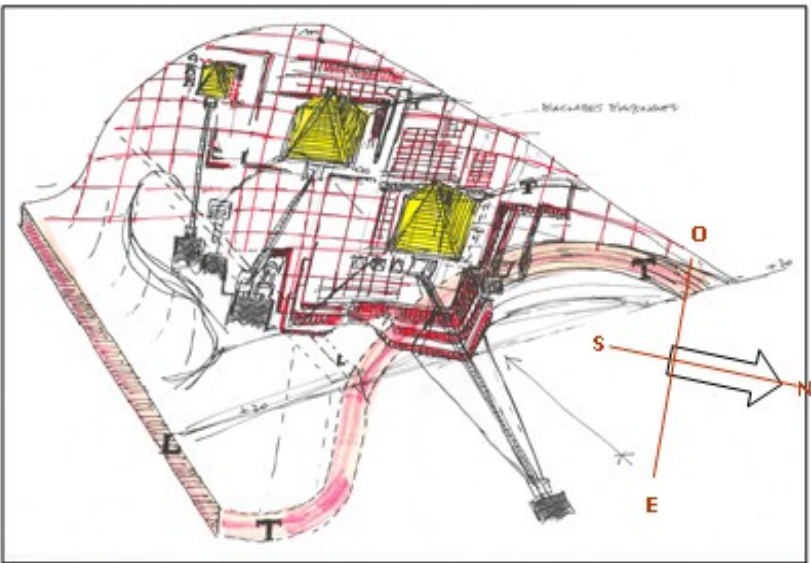
At the foot of Cheops, north face: some "removal" fingerprints



Fracturing regime proportional to strata thickness



High profile of the main diaclasses



Implementation and orientation scheme of the 3 pyramids of Giza / fracturing

- les pyramids are aligned at the top, parallel to the axis of the anticlinal fold
- The quarry orientation is dictated by the diagonal fracturing network
- the 3 pyramids are oriented according to the "surrounding" quarries: N/S and E/W

Fig. 8 : Tectoglyphes visibles sur le socle rocheux à l'angle NO de la pyramide de Chephren



Raymond PERRIER, géologue, apporte la preuve scientifique du mouvement tectonique et du réseau secondaire de diaclases "diagonales" de la fracturation naturelle du plateau de Gizeh.



Diverses marques tectoniques, ici des "stries" gravées sur l'enduit de calcite visible sur le plan de glissement, dues au frottement entre les 2 faces d'un joint du réseau secondaire "diagonal" (N/S & E/O) par rapport à l'axe du pli (orienté N 45°).(R. PERRIER et P. CROZAT - 2005).

Fig. 9 : La tête du Sphinx appartient à la couche (a) auversienne (plus sombre) du plateau de Gizeh.

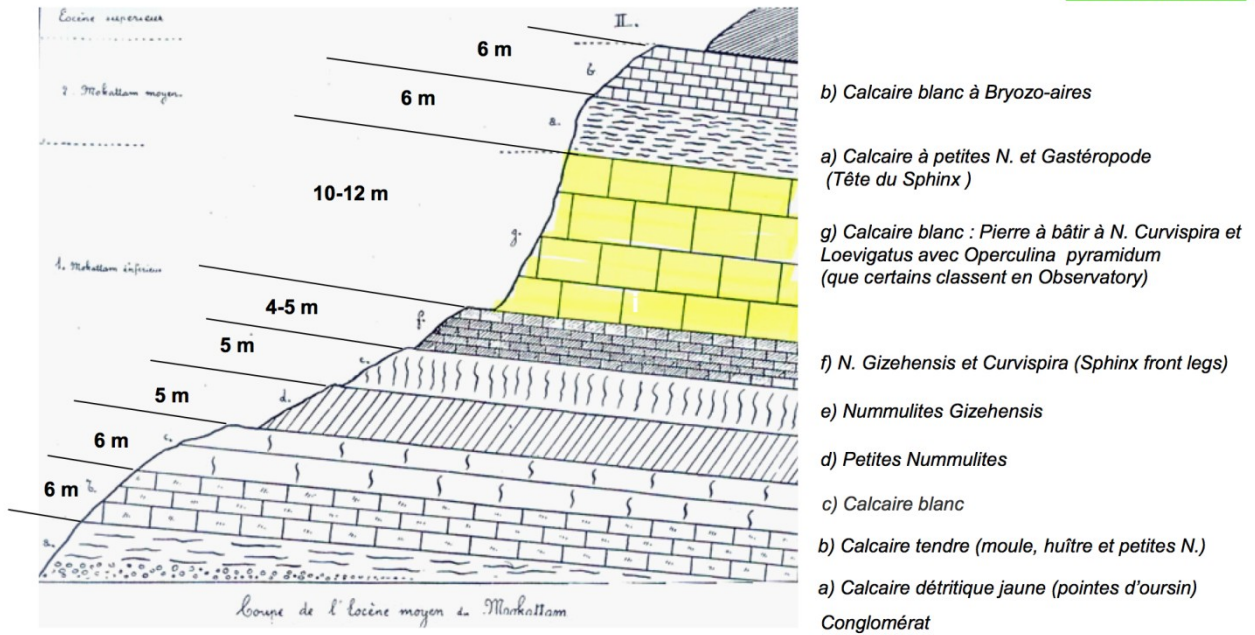
TÊTE DU SPHINX



La tête du Sphinx, la partie supérieure de la Tombe de Khent-Kawes, le Haut Temple de Chéphren, ainsi que la carrière et donc les blocs de la pyramide de Mykérinos, appartiennent à la couche (a) (6m) de l'Auversien (plus sombre) selon la Stratigraphie de J. CUVILLIER (1930).

Fig. 10 : Stratigraphie du plateau de Gizeh, établie par J. CUVILLIER en 1930

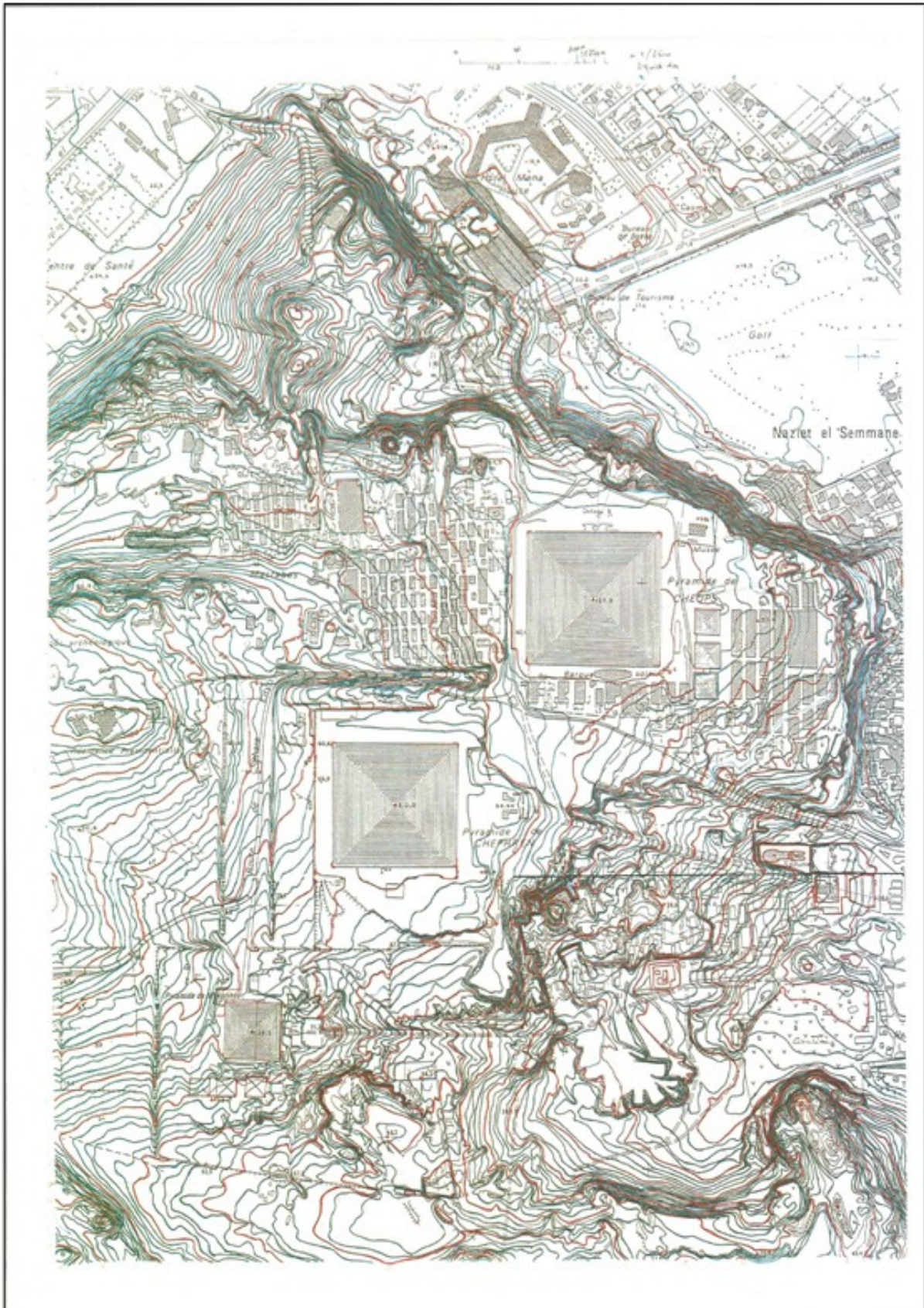
EOCENE MOYEN



Coupe stratigraphique du plateau de Gizeh d'après J. Cuvillier, 1930

Fig. 11 : Orthophotoplan du plateau de Gizeh, réalisé par l'Institut Géographique National

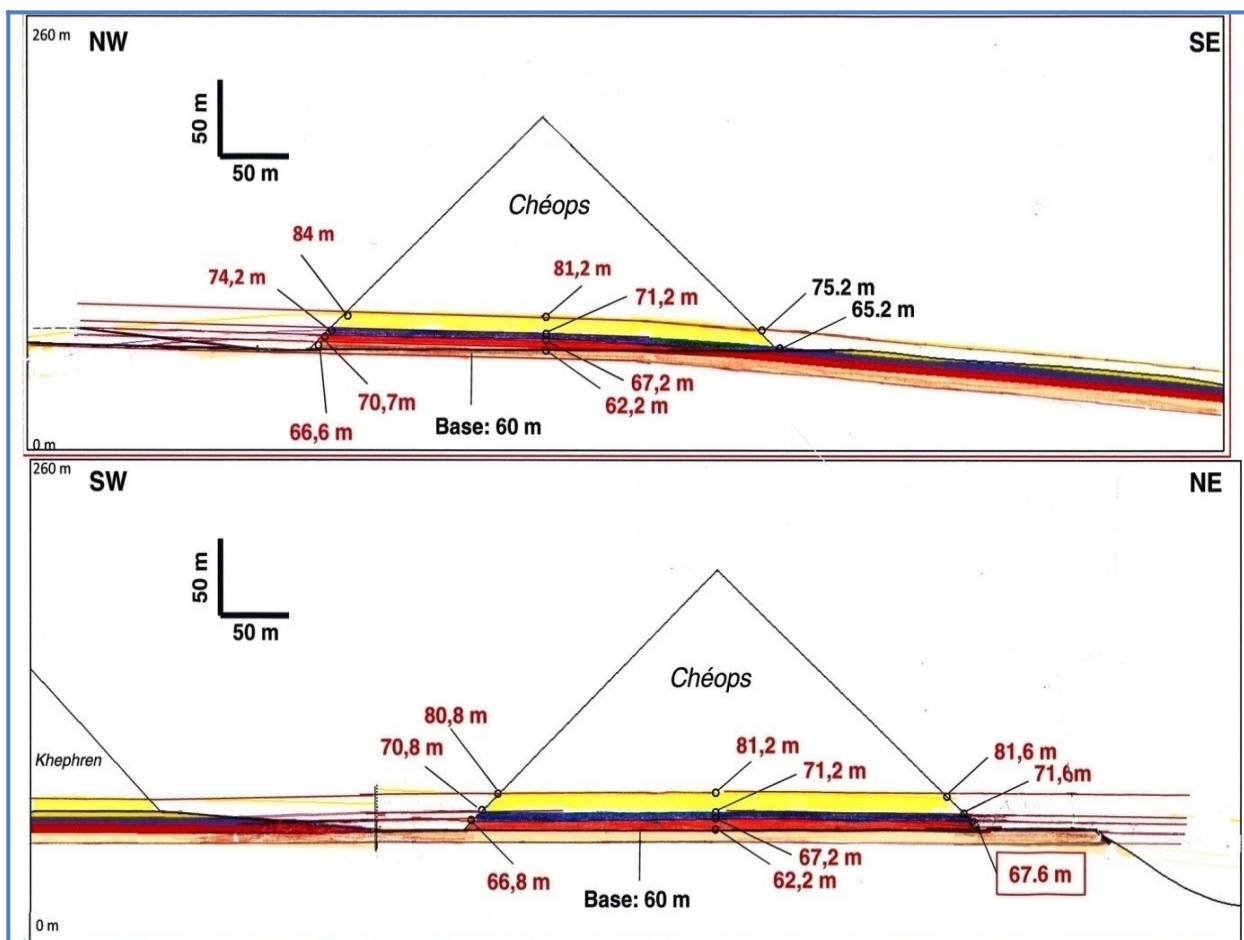
En rouge : courbes de niveau tous les 5m



Établi par photogrammétrie et restitution graphique (Institut Géographique National - IGN (France)).

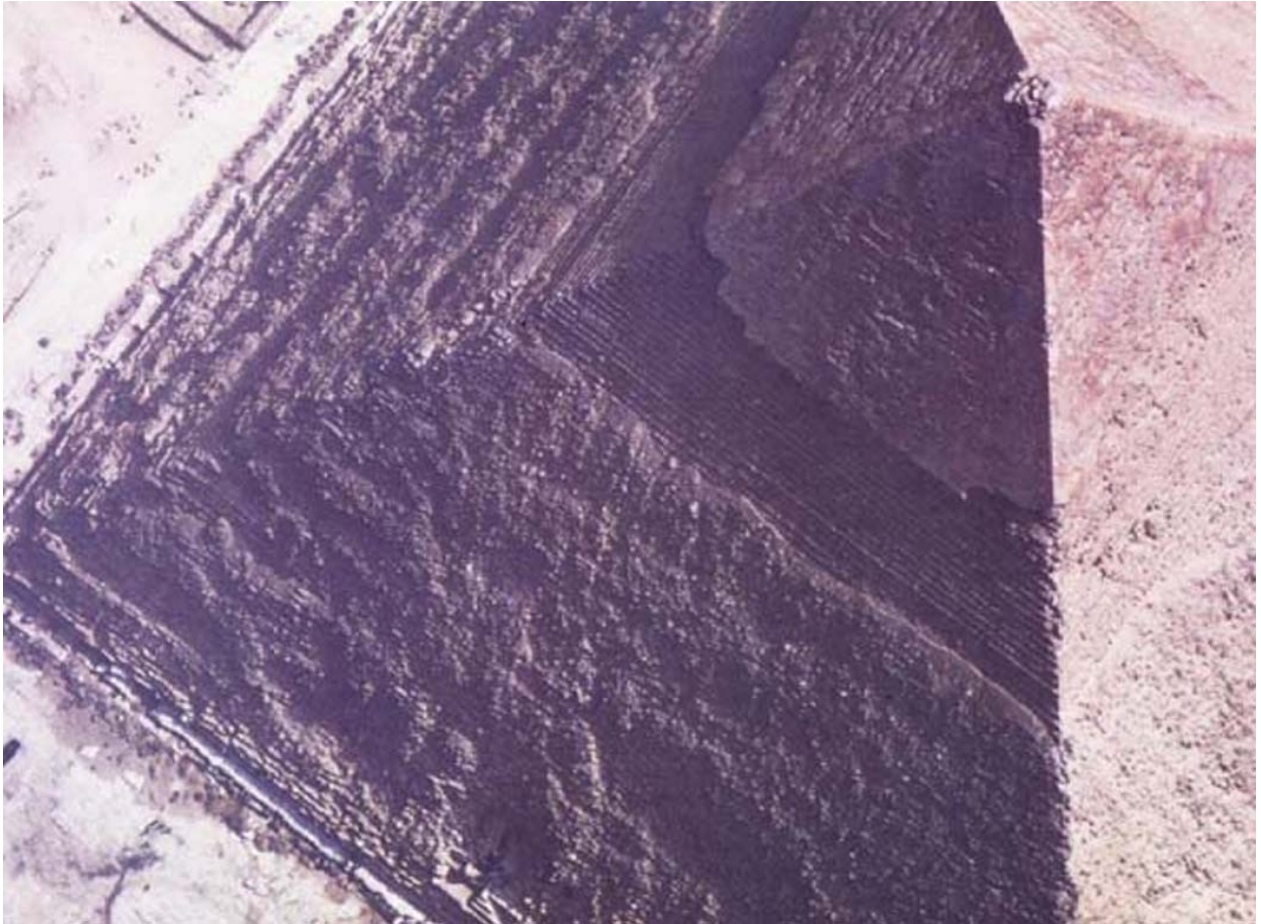
Fig. 12 : Simulation 3D de la paléo-topo-stratigraphie du plateau de Gizeh - coupes diagonales de la pyramide de Khéops : la chambre de la Reine est placée sur le plateau d'origine.

Coupes stratigraphiques selon la PYRAMIDE DE CHÉOPS (par diagonales)



La Chambre de la Reine se trouve sur la couche (g) de pierre de construction (jaune), à 21,2 m au-dessus de la base (60 m).

Fig. 13 : Pyramide de Chephren : plusieurs enveloppes de cônes de la croissance pyramidale sont visibles en raison de l'érosion.



Vue générale et détaillée



Vue de l'épaisseur du dernier cône-enveloppe érodé

Fig. 14 : Diagramme de positionnement des grands et petits vides découverts dans la pyramide de Kheops par les Muographes japonais en 2017

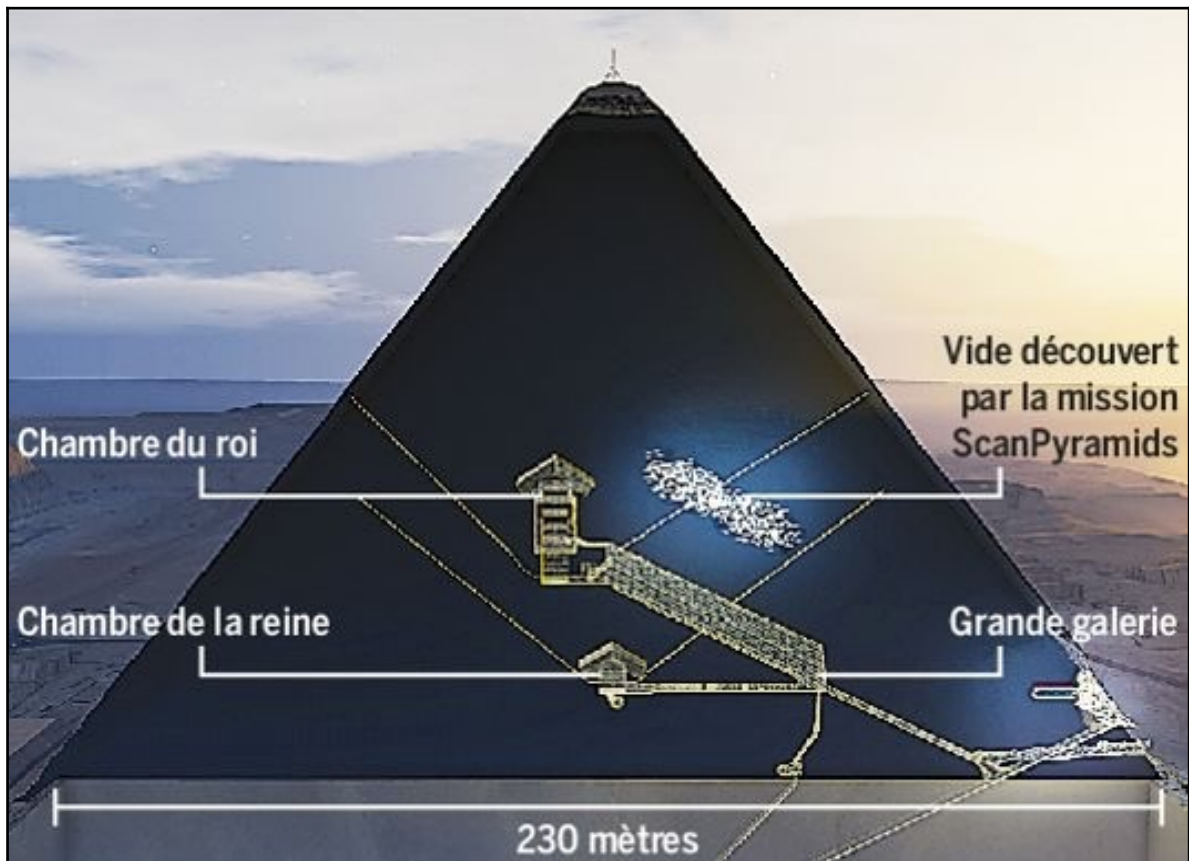
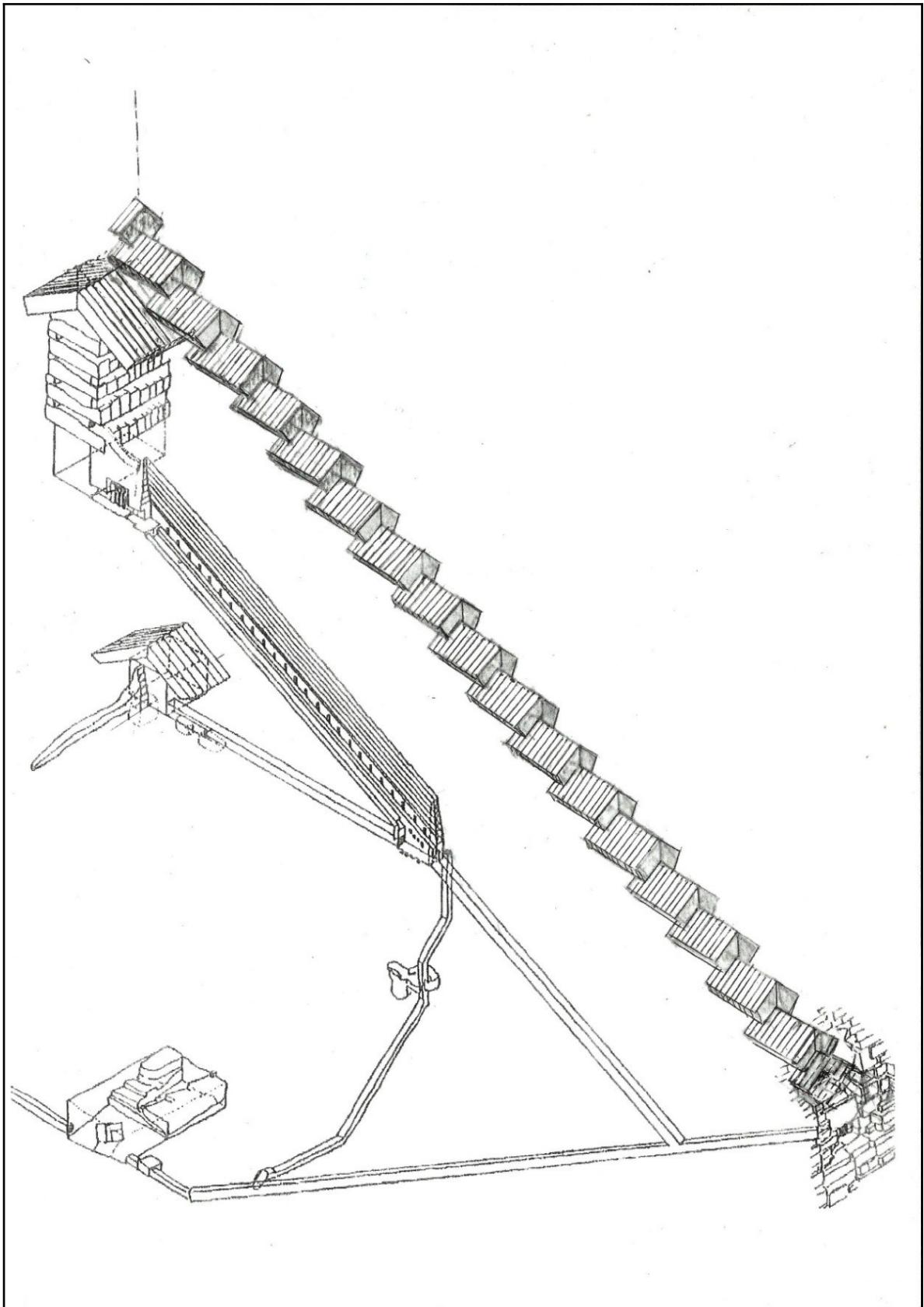


Illustration de la découverte (fortuite) des Grand et Petit vides inconnus, par les Muographes de l'équipe HIP / Scan Pyramids, dans la pyramide de Khéops, tirée de la revue scientifique NATURE (02/11/2017).

Fig. 15 : Axonomie de la cheminée de décharge "précautionneuse", proposition d'interprétation de P. CROZAT - Lettre ouverte 10/11/2017

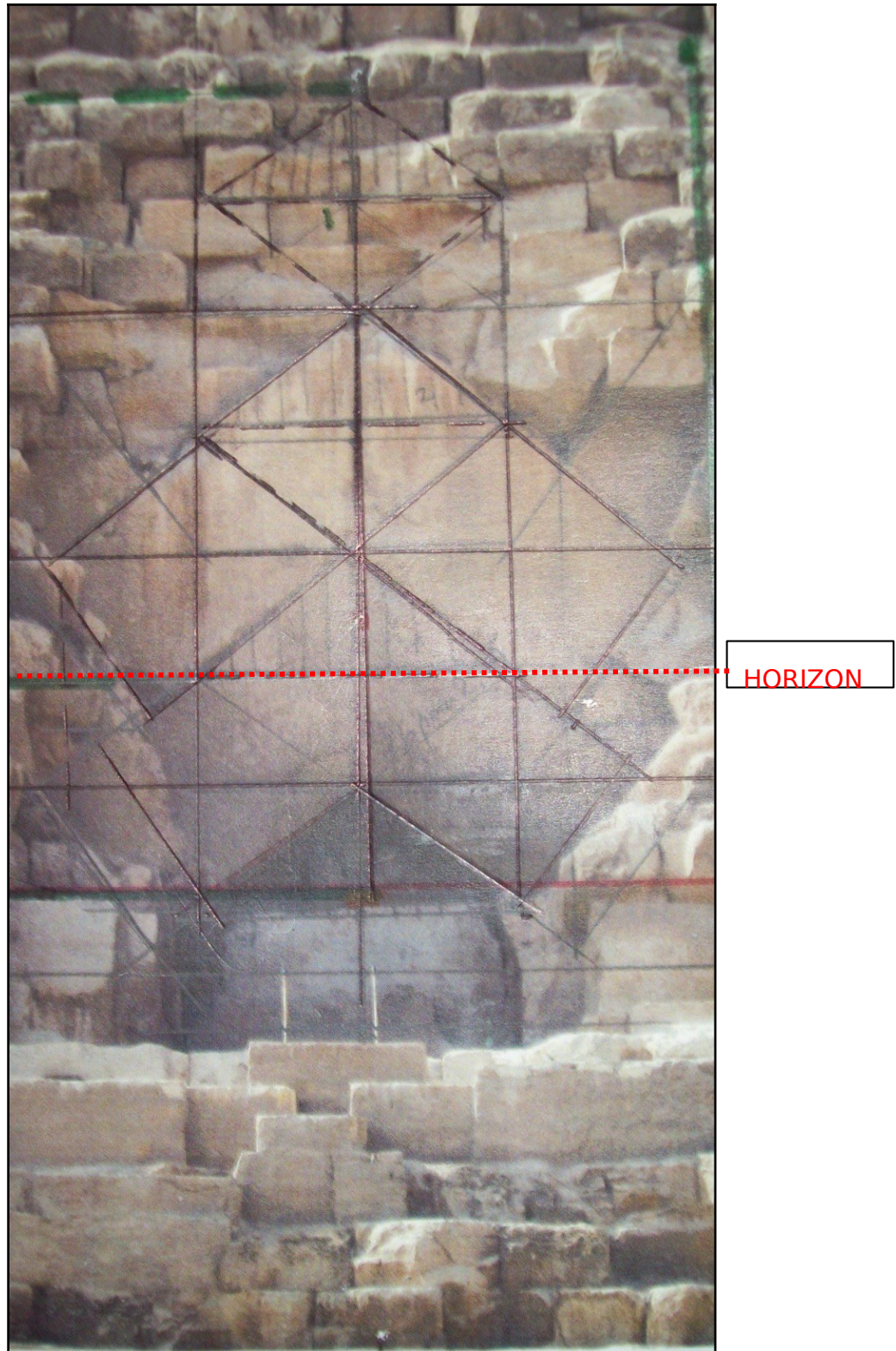
Cheminée constituée d'un alignement horizontal de chevrons dont le rôle statique est de renvoyer les charges (de la future partie de pyramide restant à construire) de part et d'autre, dans le massif en construction.



Ces cheminées de décharge aboutissent aux deux chevrons situés au-dessus de l'entrée de la pyramide (et expliquent son rôle statique et sa composition)

Fig. 16 : Les 2 chevrons superposés à l'entrée de la pyramide de Khéops sont l'aboutissement de la cheminée de décharge.

Elles ne s'expliquent pas par la faible largeur de l'entrée ; elles ne sont que le résultat de cette cheminée de décharge de précaution (dispositif statique) qui protégera la Grande Galerie (très fragile) et le Couloir Ascendant, contre le poids à venir, par la poursuite de la construction.

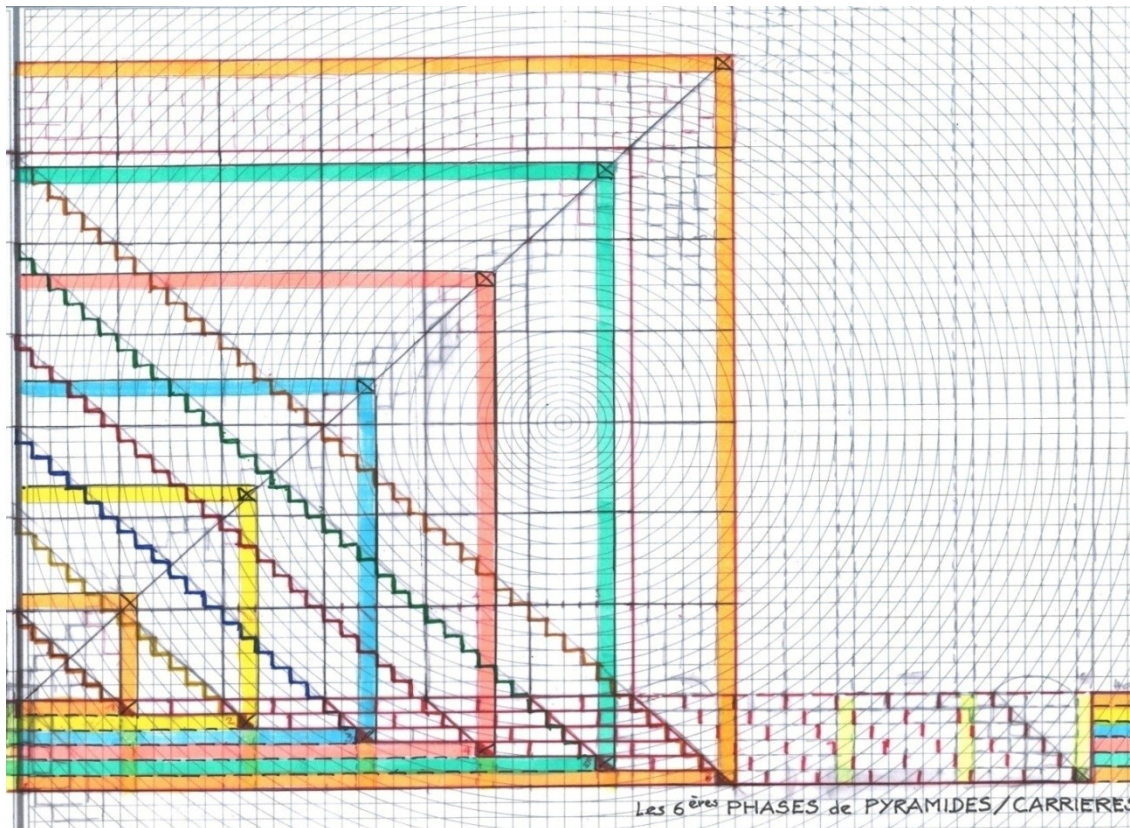


La présence, la disposition et les proportions de ces 2 chevrons superposés indiquent comment ils ont été combinés dans la pente, l'empilement de leur alignement, dans la cheminée de décharge.

Fig. 17 : Logique algorithmique sur un plan : Coordination modulaire des 6 premières phases

RECHERCHE DE COORDINATION MODULAIRE PYRAMIDE/CARRIÈRE :

Un module identique entre les Cônes-Enveloppes de la Pyramide et les Massifs de la Carrière (de 6 x 6 coudées)



Coordination modulaire pour les 6 premiers cônes-enveloppes qui doivent être étendus à 30 (ou 33) phases selon la coudée considérée :

- A. **0,55 m pour 210 sièges de 0,70 m ou H =147 m (P. CROZAT) ;** ou
- B. 0,525 m pour 220 hauteurs ou H = 147 m (J-Ph. LAUER) .

La vérification de cette hypothèse doit pouvoir se faire sur n'importe quelle face des Cônes-Enveloppes (assez simple à calculer avec la formule des nombres triangulaires **$[N = n (n + 1) / 2]$**) et trouver la phase de carrière correspondante, grâce au nombre de massifs (pleins et simples) disponibles pour la phase considérée.

L'exemple de la 6e phase est probant :

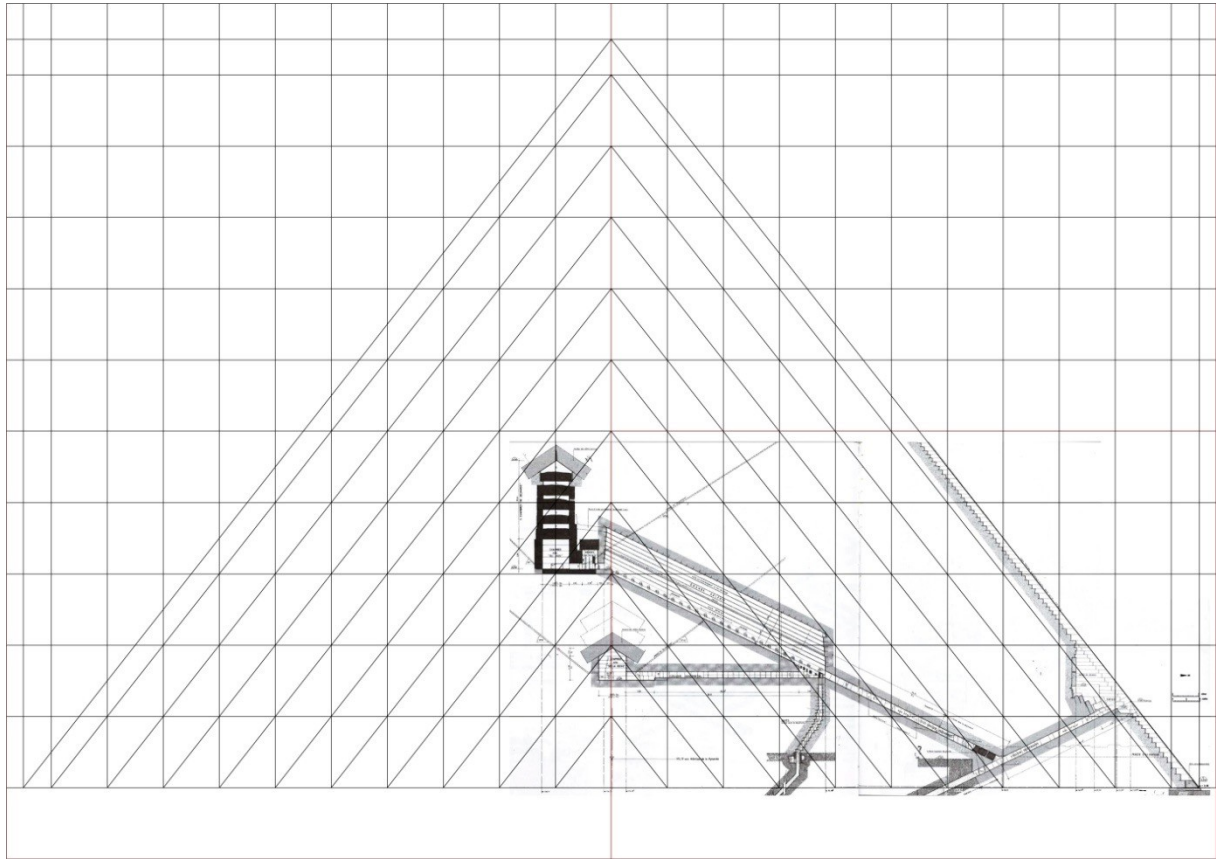
Le 6e cône-enveloppe de la pyramide compte $(666 + 780) =$ **1446 blocs**

La carrière $17 + 19 = 36$ massifs de 6 blocs sur 6 hauteurs - $36 \text{ m} \times 36 \text{ b} =$ **1296 blocs**

à ajouter $13 + 15 = 28$ massifs d'une seule hauteur ou $28 \text{ m} \times 6 \text{ b} =$ **168 blocs.**

Fig. 18 : Tracé régulateur de la pyramide de Khéops confronté aux relevés in situ de MARAGIOGLIO & RINALDI Architectes et G. DORMION

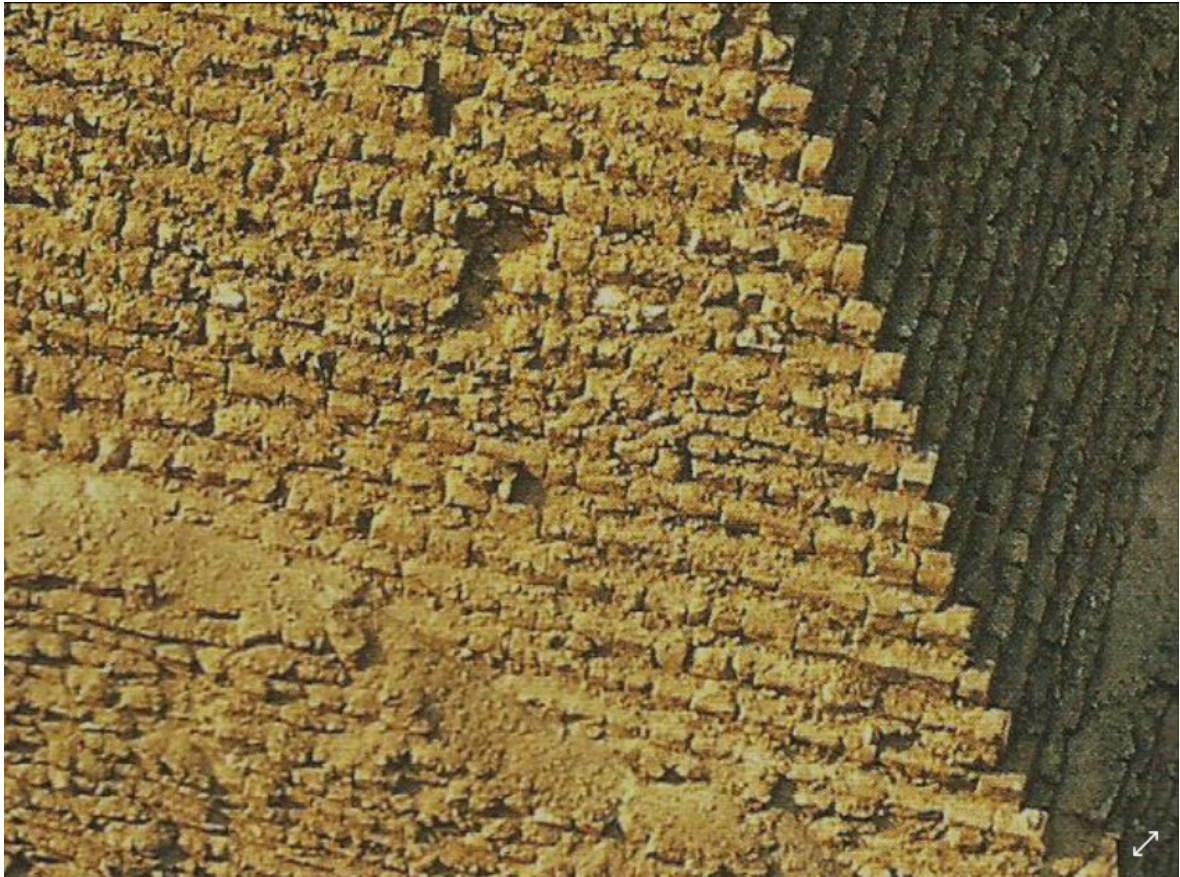
La confrontation avec les relevés de la pyramide de Khéops établis par MARAGIOGLIO et RINALDI Architectes - MRA (1965) et les relevés plus précis de G. DORMION (1996) au 1/100e et au 1/50e, est particulièrement positive ; et l'ajout de couches géologiques est également très pertinent et révélateur.



Tracé régulateur établi sur le rapport H/1/2 Base (147/115,5 m selon J-Ph. Lauer).

En effet, ce rapport à la hauteur n'a aucune incidence sur le système constructif des pyramides (P. CROZAT - 1996) qui n'est régi que par le plan de découpe des blocs dans la carrière.

Fig. 19 : Vue rapprochée de la pyramide de Chéphren “qui transpire l'Algorisme”



Vue de détail de l'appareillage des blocs bien visibles à l'angle, appelés “maçonnerie de soutien” par Z. HAWASS mais dont la régularité est l'image même de l'“algorisme” (P. CROZAT) et des cônes-enveloppes supérieurs érodés dans la partie inférieure de l'image.



... de même, le revêtement final en calcaire fin provenant des carrières de Tura (situées sur la rive droite du Nil) :

la coloration suggère une alternance algorithmique.

Fig. 20 : Exploitation manuelle des carrières au XXIe siècle en Égypte.



Carrière d'extraction manuelle existant encore aujourd'hui dans la couche Observatory à HELWAN



La méthode et les gestes d'extraction de la carrière n'ont guère changé depuis 4 700 ans.

Fig. 21 : Commentaire sur la photographie du sommet de la Pyramide de Chéphren publiée par le Dr. Z. HAWASS dans son Album "Trésors des Pyramides" (p.59)

« Sommet de la pyramide de Chephren en calcaire fin de Tura : La **maçonnerie de soutien apparaît ici régulière**, sous l'enduit, **mais la profondeur des blocs et des degrés varie considérablement (!)**. Les débris de la maçonnerie de soutien adhèrent davantage au noyau, après l'enlèvement de l'enduit. »



(!) : En revanche, nous proposons que les "débris" soient dus à l'érosion des enveloppes des cônes, laissant apparaître l'organisation algorithmique de la construction qui se poursuit par couches successives jusqu'au cœur de la pyramide. C'est le système même de l'accrétion pyramidale, CQFD. (P. Crozat 2002 et 2019).

Fig. 22 : Schéma de coordination (plan et coupe) de la relation Carrière-Pyramide

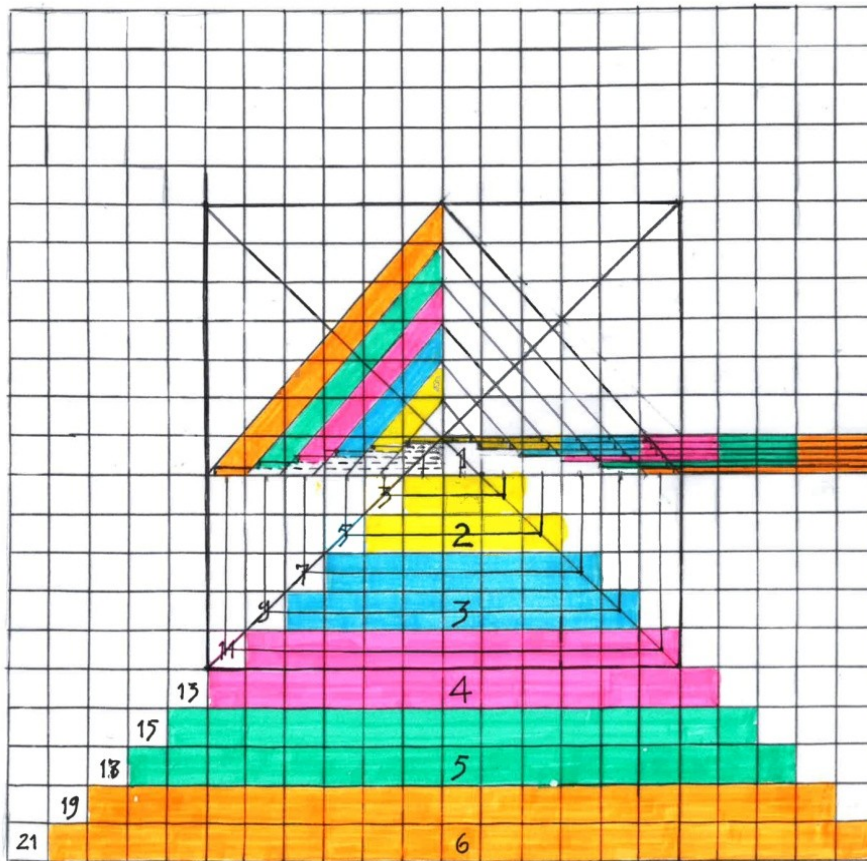


SCHÉMA RÉGULATEUR des 6 ères PHASES (Plan - Coupe)

EN PLAN :

Ce schéma régulateur de la coordination de la relation PYRamide-sur-CARrière au cours des 6 premières phases de la croissance pyramidale (qui en comprendra 30) indique :

- la surface de la PYR. (6 phases) : carré central 12x12
- la surface de la carrière. (6 phases) : carré 22 x 22
- la pyramide centrale vide (ou pleine)
- Les phases successives de CARRIÈRE (différentes couleurs dans les phases) avec leurs correspondances de couleurs.

EN COUPE :

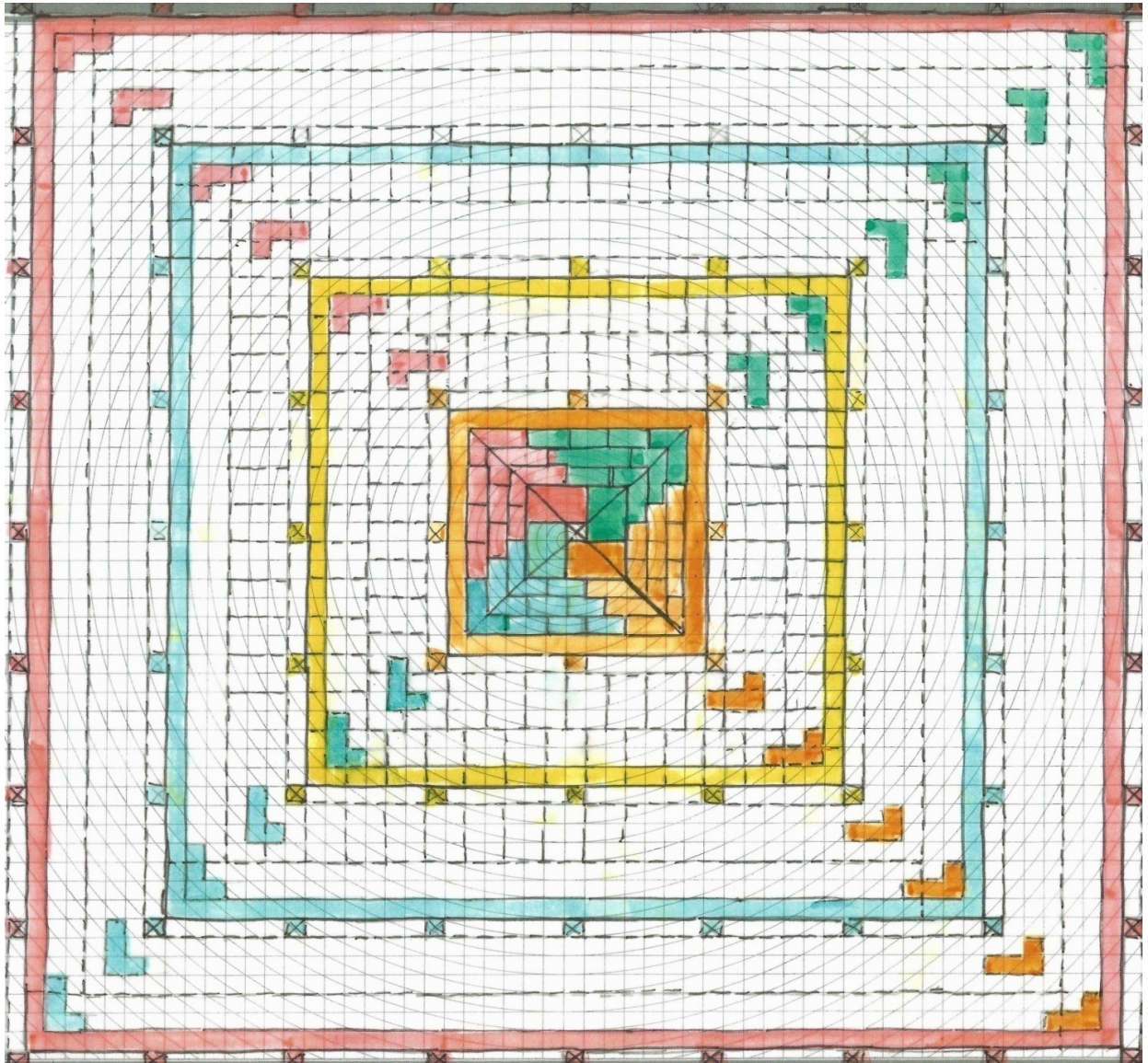
- à gauche, avec les phases du cône d'enveloppe correspondant de la PYRAMID.
- à droite, avec les phases correspondantes de la CARRIÈRE.

Ce schéma s'appliquera aux 30 phases de croissance pyramidale, homothétique, non pas "géométrique" (la géométrie n'existera qu'avec les Grecs) mais par continuation de cette "logistique algorithmique" (ici installée), par ajouts successifs de 25 autres phases.

Cette logistique algorithmique pré-pythagoricienne, étroitement liée aux 5 Grandes Pyramides lisses, constitue un saut technologique - conceptuel que seuls les bâtisseurs égyptiens ont pu franchir. Cette dernière phase "cyclopéenne" de l'évolution des méthodes adaptées aux matériaux de construction fournis par le site d'implantation : l'analyse même de cette évolution faite dans cette recherche bouleversée et annihile toute velléité de solution "rampiste".

Fig. 23 : Coordination modulaire : phases successives d'emprunt à la périphérie même de la carrière

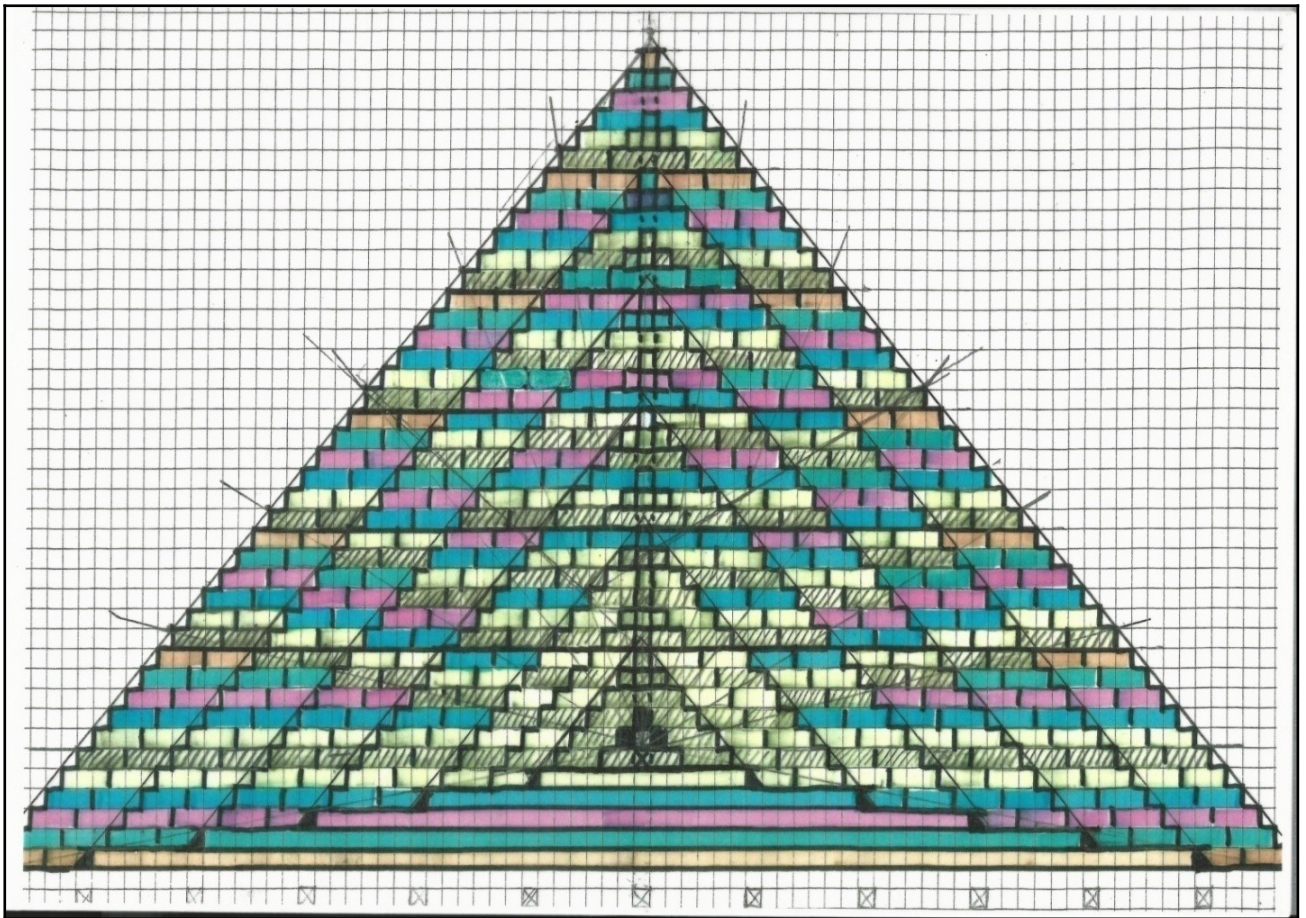
À partir d'une première petite pyramide de départ (centre), fournissant les blocs nécessaires à la construction des cônes-enveloppes successifs de l'“accroissement pyramidal”.



Vue en plan de la division des blocs en carrières successives correspondant aux différentes phases de la croissance pyramidale.

**Fig. 24 : Coordination modulaire : phases successives de l'augmentation pyramidale
Pyramide**

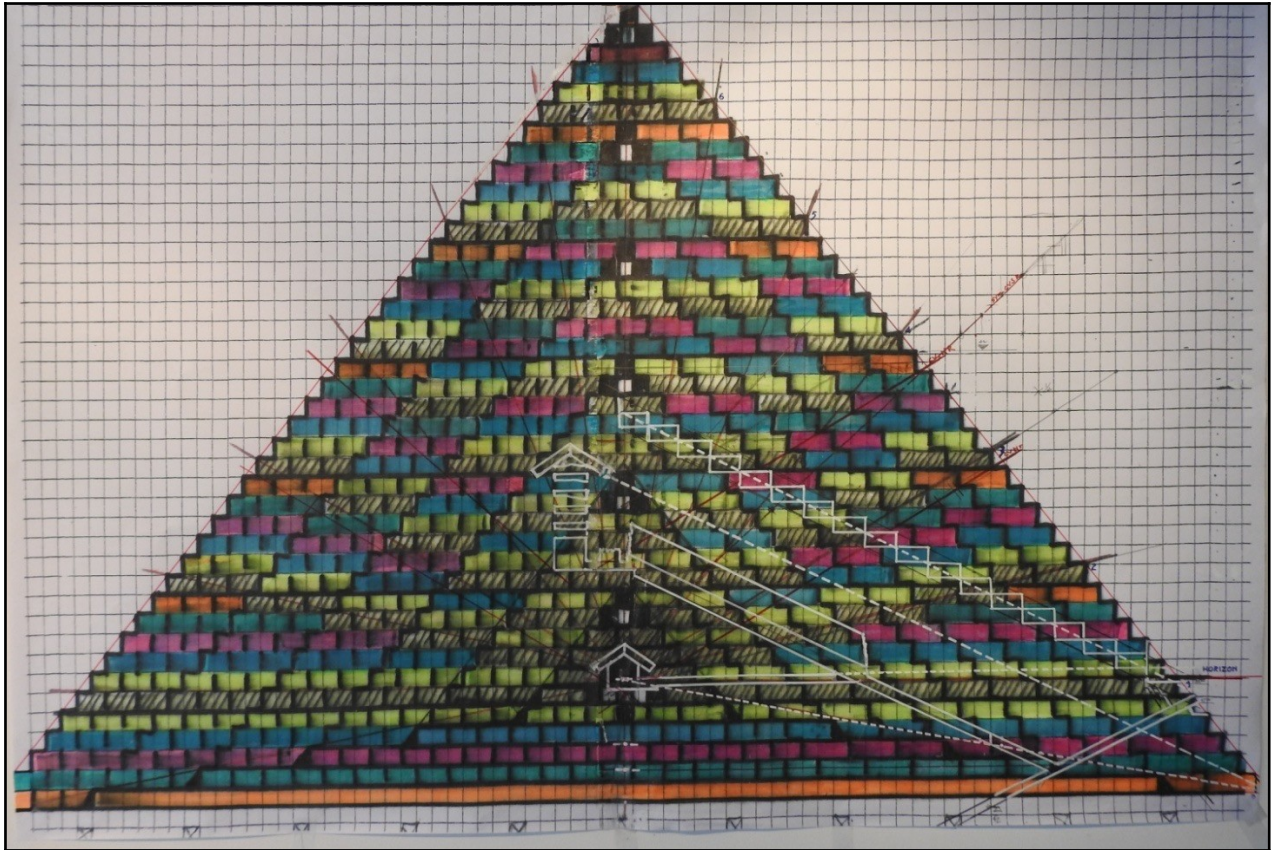
**A chaque phase de croissance de la pyramide :
la hauteur de la carrière est égale à 1/7e de la hauteur de la pyramide.**



La composition du cône-enveloppe augmente au fur et à mesure des phases : 1ère phase : 1 couleur ; 2e phase : 2 couleurs ; 3e phase : 3 couleurs ; ... ; 30e phases : 30 couleurs.

Fig. 25: Superposition des dispositifs intérieurs de la pyramide de Khéops (d'après G. DORMION) sur le dessin (coloré) de la “Logistique algorithmique”, mettant en évidence leur conjonction.

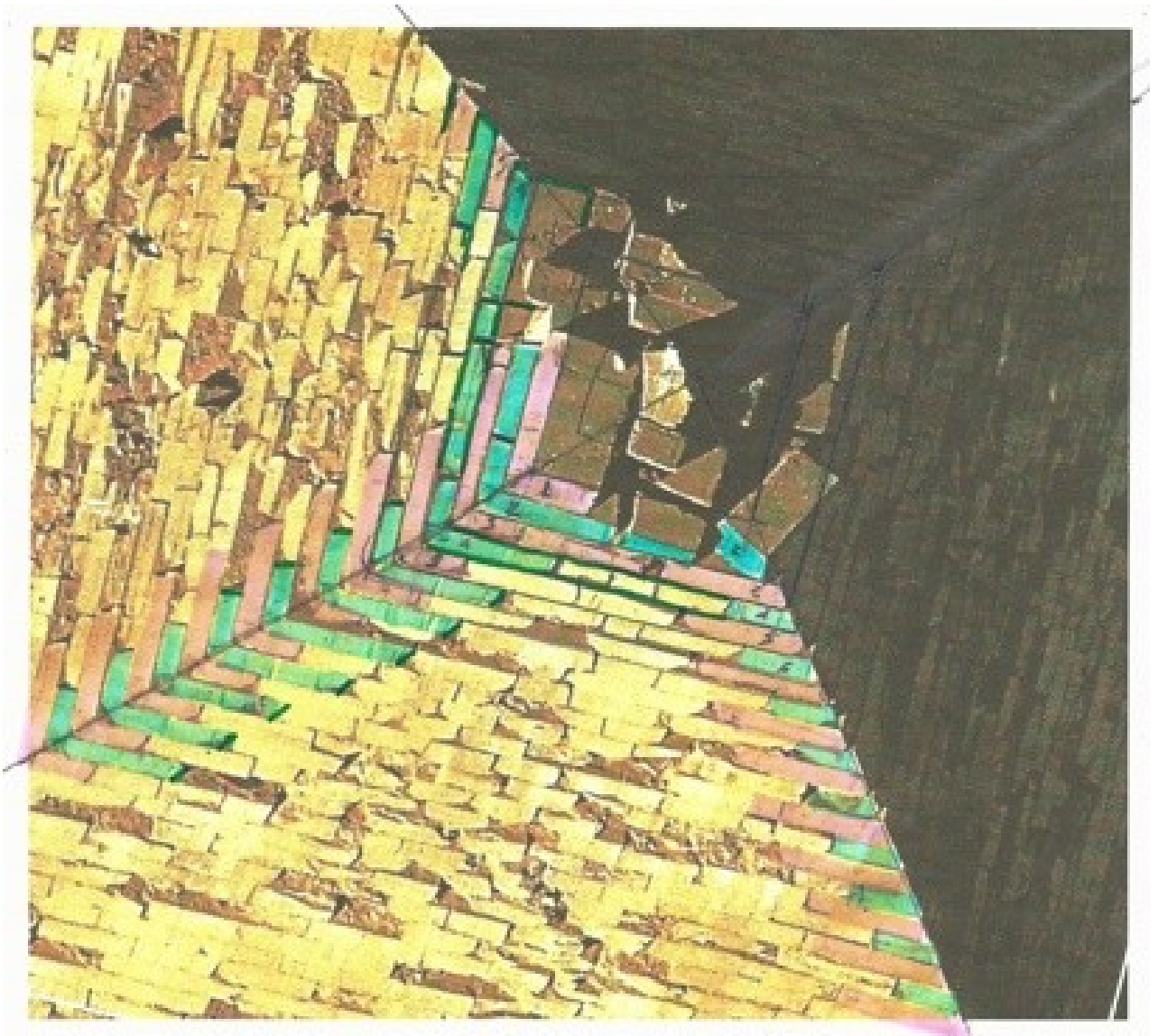
Couloirs, Chambres du Roi et de la Reine, Grande Galerie et Cheminée de décharge (P. CROZAT, Proposition - 2017) et y compris les conduits de ventilation (ici en rouge) (d'après l'étude de G. DORMION, voir les lignes en blanc, 1996 - Modifié 2004).



Ouvrage brut à l'échelle 1/200ème établi le 08-04-2019 :

- e) Le centre de la pyramide est situé sur le sol de la Chambre de la Reine à une hauteur de 21m par rapport au sol extérieur (000). C'est aussi le centre de la carrière dont la hauteur est égale à 1/7e de la hauteur de la pyramide.
- f) Il s'agit donc du centre homothétique de l'augmentation de volume de la pyramide. Le centre du radiant est toujours à 1/7ème du cône enveloppant observé. (7 fois 21m = 147m soit 210 banquettes de 0,70m en moyenne sur le réseau de la carrière). Nous proposons que l'algorithme utilisé soit la coudée royale de Khéops mesurant 0,55 m. Nous pensons que la pyramide de Khéops n'a jamais eu 220 gradins (J-Ph. LAUER) mais seulement 210 et que les 21 m de sa carrière correspondent à 30 gradins d'une valeur moyenne de 0.70 m (soit 40 coudées communes), même si ces gradins sont de hauteurs variables.
- g) **Il ne s'agit pas d'une “géométrie sacrée” souvent évoquée mais d'une logistique algorithmique dont l'existence - à l'époque des Grandes Pyramides d'Égypte - a été authentifiée par Michel SERRES, dans son livre “Les origines de la géométrie”. Cependant, n'étant pas un praticien de la construction (spécifiquement attaché aux actions concrètes), il n'a pas perçu le décalage direct, voire ontologique, réalisé par le saut technologique des blocs cyclopéens des Grandes Pyramides qui ont également nécessité l'invention de la machine de levage, par rapport au continuum technique des ouvrages tumulaires antérieurs. (P. CROZAT - Nov. 2019).**

Fig. 26 : Les 2 algorithmes combinés du Pyramide de Chephren.



Photographie de M. Bertinetti (White Star - 2004) publiée par NG (F) "Égypte entre ciel et terre".

Le revêtement de la pyramide de Chephren en calcaire blanc provient des carrières de Tura, sur la rive opposée du Nil. L'étude de cette photographie, que nous avons colorisée, indique un second algorithme qui permet le croisement des blocs d'angle sur les arêtes, assurant ainsi une meilleure stabilité et durabilité dans le temps et réduisant les dégradations volontaires.

Il se superpose et se combine avec le premier algorithme qui traite de la construction des cônes enveloppants. Le premier algorithme constitue le système constructif des grandes pyramides et ne traverse pas les blocs d'angle.

1er algorithme, pour la construction : assemblage en boutisse, c'est-à-dire que la longueur du bloc est perpendiculaire à la face.

2d algorithme, pour la couverture : assemblage en panneresse, c'est-à-dire que la largeur des blocs est perpendiculaire à la face. Les panneresses sont plus grandes que les boutisses, ce qui permet l'achèvement définitif du lissage, dicit Hérodote.

Définir l'idée d'un "système ouvert" par rapport à un "système fermé"

« L'intelligibilité du système doit être trouvée, non seulement dans le système lui-même, mais aussi dans sa relation avec l'environnement et que cette relation n'est pas simplement une dépendance, mais qu'elle est constitutive du système ». Un terme qui ouvre la porte à la "théorie de l'évolution" qu'il poursuit en débouchant sur la notion d'interaction en "système ouvert" et "éco-système" puis sur celle de "système auto-organisateur".
(Le "système auto-organisateur", Éditions ESF, 1990, (p. 31))

En effet, une fois que **la Logistique Algorithmique a imposé sa règle**, dès le premier empilement : la longueur des blocs est absolument dictée par la grille de tranchées de la CARrière et le croisement des blocs est fixé par le "mouvement" (course du bras de levier et position du point d'appui). Quant à la hauteur des blocs elle peut varier d'une pyramide à l'autre, bien sûr, mais aussi à l'intérieur de la pyramide de Khéops si nécessaire (dans les limites de l'engin de levage), car cet aléa sera compensé par des "calages horizontaux" - le plus économe est A. CHOISY - et ce d'un bloc à l'autre dans la même enveloppe conique ou d'une enveloppe conique sur l'autre. Ceci constitue une sujétion importante mais néanmoins facile, car cette pierre est tendre, surtout la couche (g) de pierre à bâtir (12 m).

Chephren a résolu cette difficulté en exploitant uniquement la couche (g) pierre à bâtir (12m) (compacte et tendre, facile à tailler) sans creuser dans la couche inférieure (f) (4-5m) (moins propice) et en normalisant ses blocs, ce qui l'obligera à suivre ce gisement (g) là où il se trouve c'est-à-dire en amont, au-dessus du front de taille (falaise) à l'ouest où l'on peut apercevoir des vestiges de carrières.

Pour sa part, **Khéops** après avoir réalisé **un premier noyau de cônes-enveloppes avec la Couche (g) pierre à bâtir (12 m)**, noyau pyramidal qui contient tous ses dispositifs intérieurs, régi par la Logistique Algorithmique (jusqu'à l'endroit où le couloir ascendant "descendant" quitte cette couche (g), soit 11m dans la pyramide), empruntera dans la couche sous-jacente (f) (4-5m) mais sera contraint 4m plus bas. Les Couches (e) (5m) et (d) partielles sont difficiles à extraire - à aller chercher là où on les trouve encore, c'est-à-dire à suivre cette couche (g) en amont vers l'Ouest et à ouvrir une carrière dans les collines (sur les futurs champs des Mastabas à l'Ouest) en mettant à jour la Couche (f) que l'on peut trouver in situ, jusqu'au pied du Mastaba G 2000 (formant le sommet de la première cuesta), qui appartient à cette Couche (g) Pierre à bâtir.

Le Mastaba G 2000 offre un front solide à l'Est bien reconnaissable par son érosion karstique. C'est précisément cette apport face Ouest qui aura permis de décentrer le sommet de la pyramide à l'ouest d'une quinzaine de coudées.

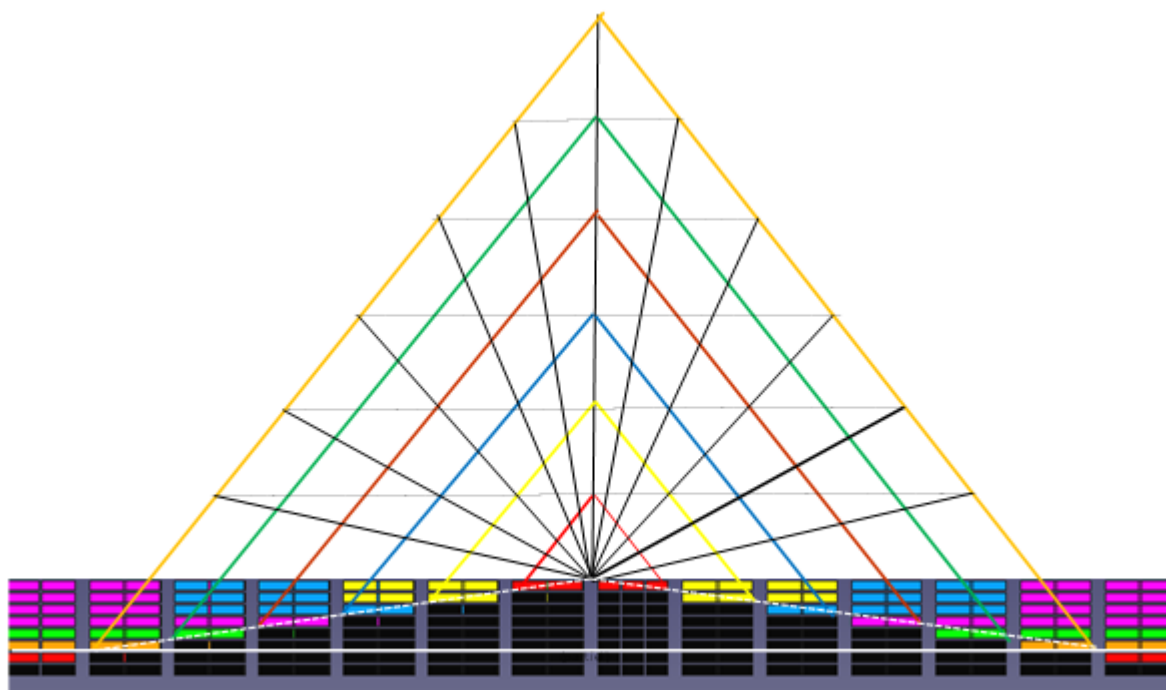
Ces différentes observations de l'ordre de la Logistique Algorithmique superposées aux données stratigraphiques et pétrographiques font de ce système constructif un système ouvert et sa relation à l'environnement est constitutive du système : soit "un système auto-organisé".

Enfin **le revêtement final en Pierre Calcaire Fine** (blanche) extraite des Carrières de Tura (situées de l'autre côté du Nil) sera amené (par voie fluviale en période de crue) et posé comme les cônes-enveloppes précédents (avec la même machine), **puis sera ravalé**, c'est à dire que l'on cassera les marches des blocs pour rendre la pyramide lisse, non pour être belle mais pour être "achevée" dit Hérodote : « la pyramide était achevée depuis les gradins supérieurs et inférieurs jusqu'à la base de l'édifice ». N'ayant donc plus la possibilité de support (bomides : appui) on ne peut plus utiliser la "machine", ce qui empêche la poursuite de sa construction.

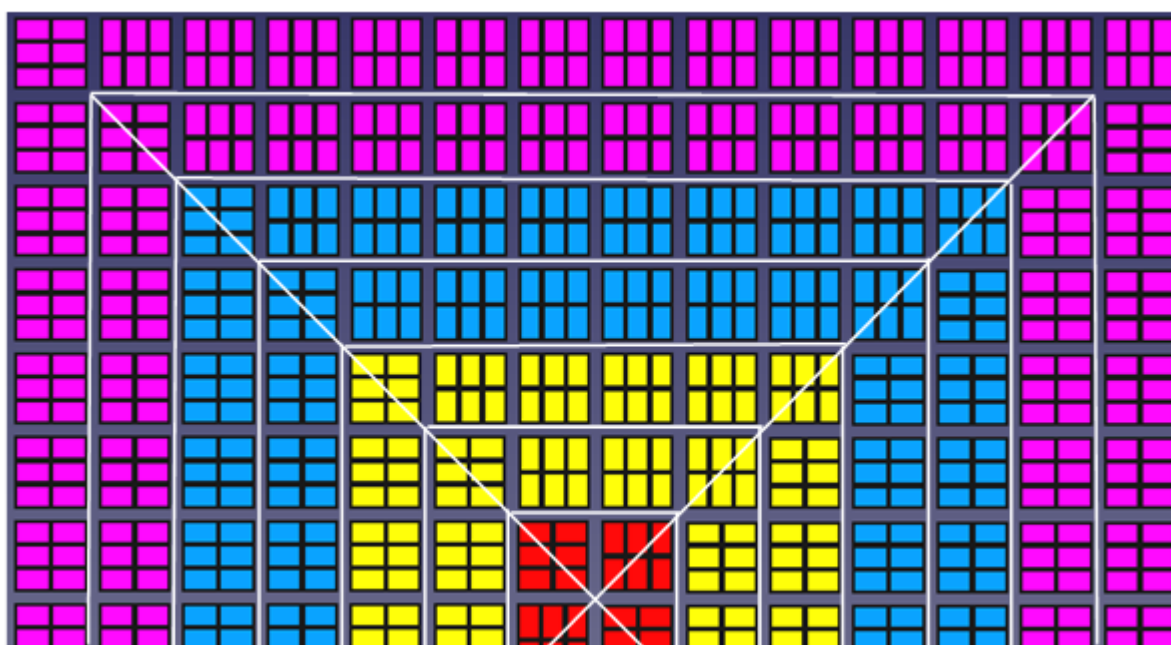
Le texte d'Hérodote est technique et précis : il contient la solution "système".

Fig. 28 : La modélisation cinématique de la construction du modèle “théorique” de la logistique algorithmique a commencé. (P. CROZAT & B. HOSTALERY -2020)

INFOGRAPHIE ANIMÉE BASE DE MODÉLISATION (2019)
Les six premières phases de PYRAMIDE / CARRIÈRE (en coupe et plan)



Cut view of the first 6 phases of the Pyramid on the corresponding Quarries (partial)



Plane view of the first 6 phases of the Pyramid on the corresponding Quarries (partial)

Fig. 29 : Un exemple de logistique algorithmique : Creusement d'un canal sous Mao Zedong



Logistique algorithmique induite par la pelle individuelle : méthode héritée du fond des âges, reprise en raison du travail manuel.

Fig. S1 : Les 3 salles de la pyramide de Khéops par L. BORCHARDT

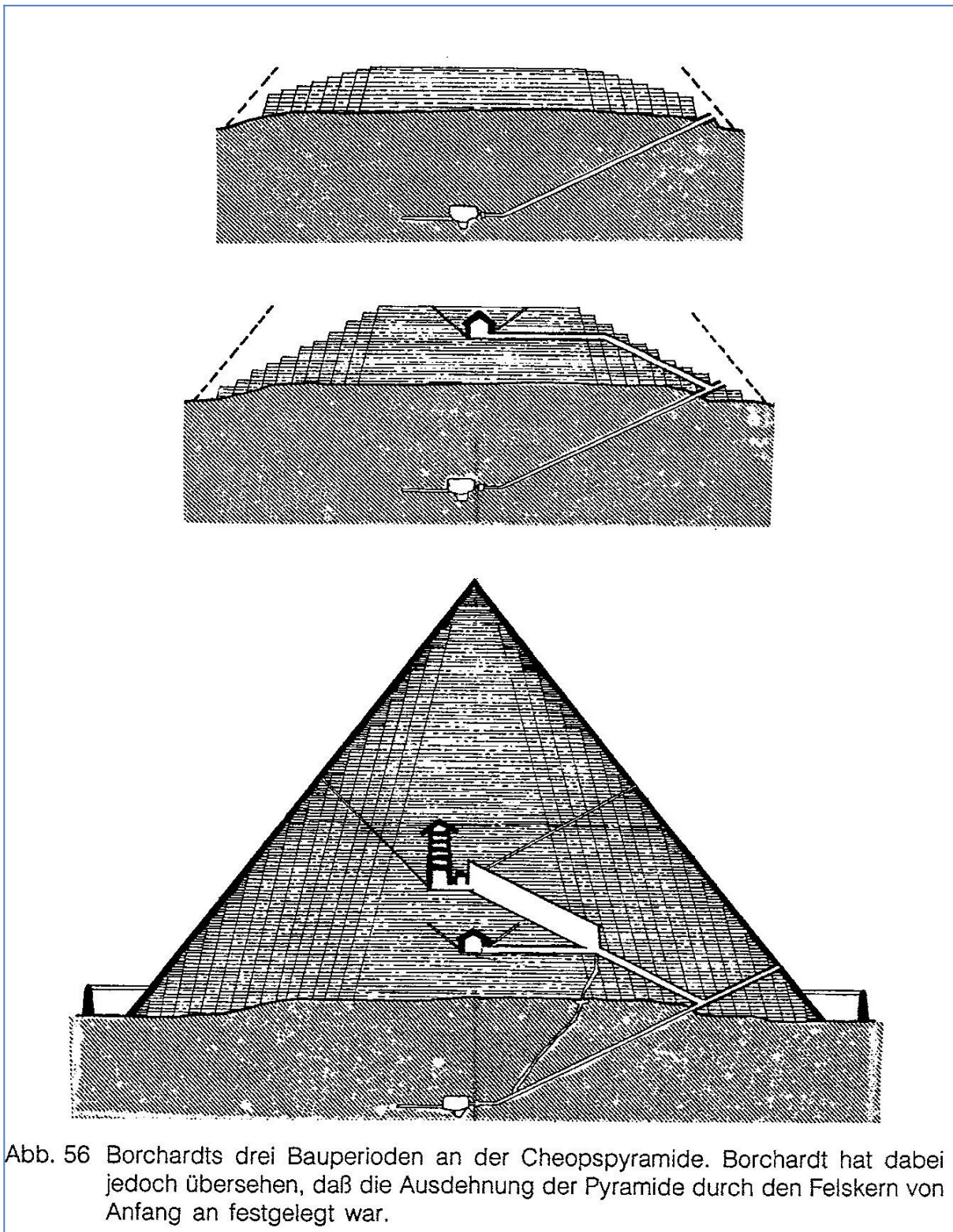
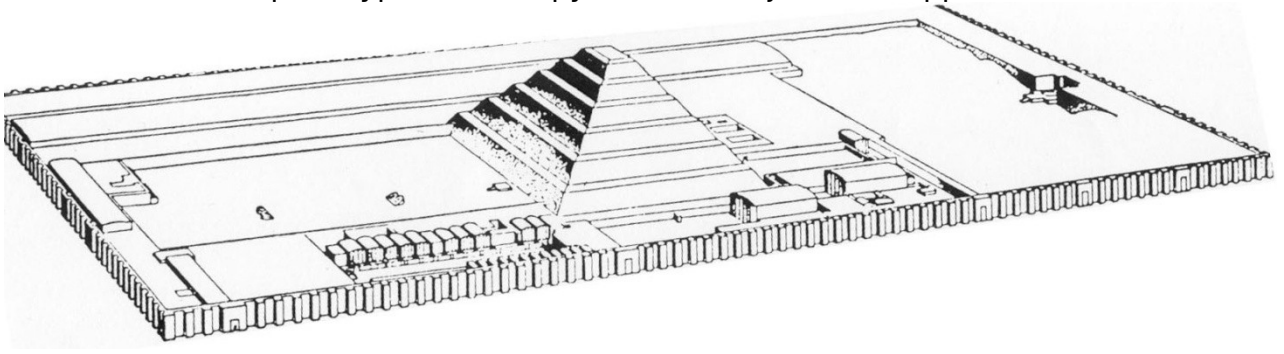


Abb. 56 Borchardts drei Bauperioden an der Cheopspyramide. Borchardt hat dabei jedoch übersehen, daß die Ausdehnung der Pyramide durch den Felskern von Anfang an festgelegt war.

L'existence de trois chambres successives à l'intérieur de la pyramide de Khéops est généralement acceptée par l'égyptologie classique, sans autre vérification. Cette interprétation repose sur un scénario imaginaire qui est fondamentalement remis en question par la méthode de logique constructive de l'accrétion pyramidale, dérivée du texte d'Hérodote, et développée plus loin dans le texte.

Fig. S2 : Pyramides à degrés

Elles sont construites avec de petits blocs (période de l'éocène supérieur) qui peuvent être portés à la main. Le prototype serait la pyramide de Djoser à Saqqarah.



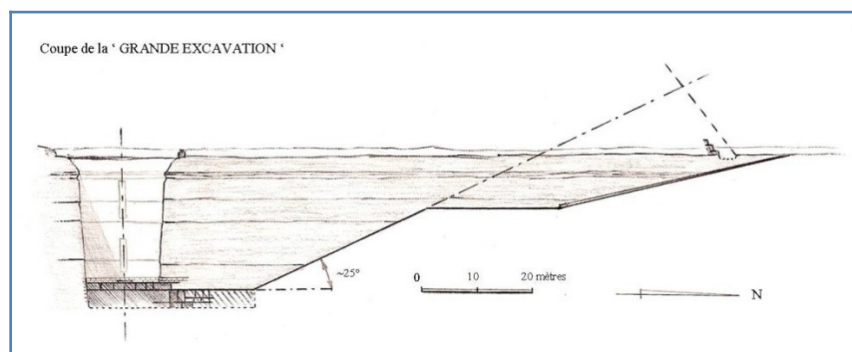
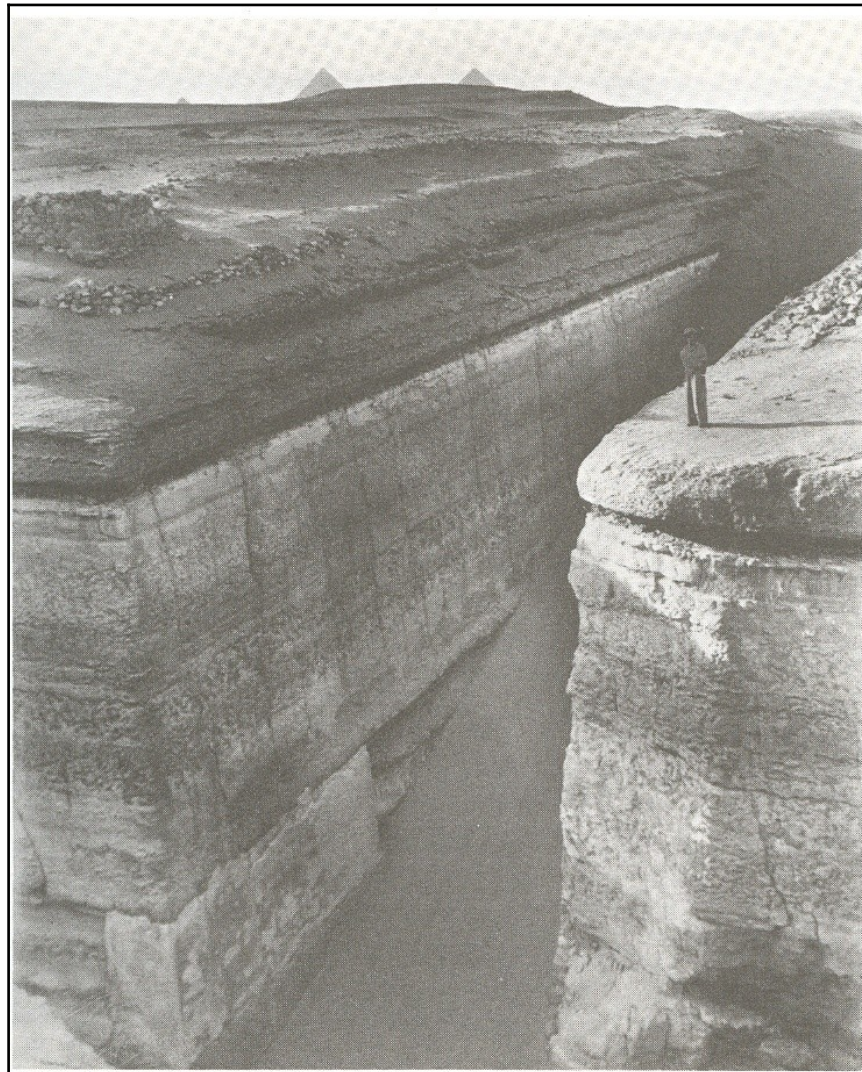
Complexe funéraire de Djéser à Saqqarah : c'est dans les cours latérales qu'ont été prélevés les matériaux (petits blocs) qui constituent la pyramide à degrés. Le fond de la carrière repose sur une couche de galets fusionnés, elle-même reposant sur une couche d'argile et de calcaire mélangés, appelée "tafla", impropre à la construction.



Derrière les murs de parement (réalisés avec des pierres de qualité provenant d'un autre endroit), on reconnaît le dépôt local (petits blocs) prélevé dans les cours latérales. Ce dépôt a été utilisé pour construire la pyramide avec des marches (10 mètres) qui ne sont pas là pour le style, mais qui reflètent la méthode de construction elle-même ; la hauteur est la même que celle des remparts des villes, et elle est due à la longueur des mâts ou des tréteaux de l'échafaudage en bois.

Fig. S3 : Grande fouille de Zaouiet el Arian (IIIe ou IVe dynastie)

Le fossé creusé pour placer le sarcophage est identique à celui d'une pyramide à degrés (IIIe dynastie). Cette pyramide n'a jamais été construite, puisqu'on peut voir ses lits de matériaux intacts, des petits blocs près de la surface (Éocène supérieur), sur la couche inférieure massive (Éocène moyen et inférieur).



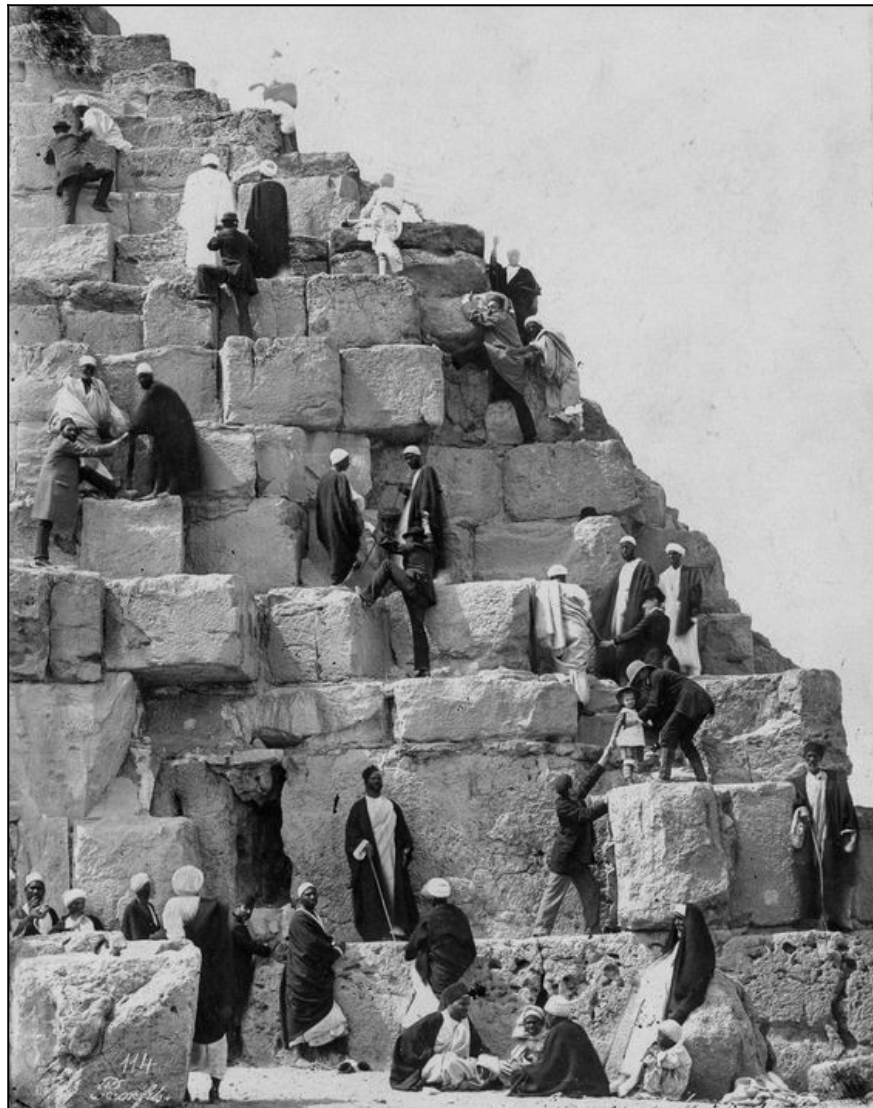
On peut observer la composition de la couche de l'Éocène supérieur avec laquelle il aurait été construit.

(Situé dans une zone militaire, nous n'avons pas pu nous y rendre)

Fig. S4 : Grandes pyramides lisses

2 pyramides de DASHOUR (Pyramide Bombée et Pyramide Rouge) et 3 pyramides de Gizeh (Khéops, Chéphren et Mykérinos)

Les grands blocs cyclopéens sont fournis par les couches de l'Éocène moyen, empilées simultanément sur les quatre faces de la pyramide, à partir d'un premier pyramidion placé sur le plateau préexistant. « Il fut d'abord construit avec cette forme ; puis on hissa les pierres supplémentaires avec une machine faite de courtes pièces de bois ». Hérodote (voir fig. 2). Cela signifie que ce pyramidion (contenant la chambre de la reine dans la pyramide de Khéops) n'a pas été construit avec les "étapes successives" qu'il décrit pour le reste de la construction. Il est réalisé avant, afin de déterminer la forme, la pente et le rythme de la mise en place, donc l'algorithme.



Remarquez sur cette photographie l'angle NE de la pyramide de Khéops :
Les deux premiers niveaux sont coupés à la base du plateau (jusqu'à la petite fille).

Fig. S5 : Pyramides d'Abousir

Pyramides à degrés faites de petits blocs que l'on peut porter à la main. Les blocs proviennent du site lui-même (Éocène supérieur) avec des compléments pour les rendre lisses.



Les trois pyramides d'Abousir (au nord du plateau de Saqqara) sont sur le même lit de l'Éocène supérieur. Bien que datant de la Ve dynastie, donc postérieures à celles de la IVe dynastie, faites de blocs cyclopéens, elles sont construites par gradins, en raison des petites pierres de leur site d'implantation.

On peut donc établir la relation entre la forme des pyramides et leurs bases géologiques respectives à travers leurs différentes méthodes de construction. On peut en déduire le fait général que les méthodes de construction étaient adaptées aux caractéristiques de la base rocheuse (petites ou grosses pierres), et que cela a généré la forme. En d'autres termes, les caractéristiques des matériaux fournis par les couches rocheuses ont imposé la méthode adaptée, qui a créé la forme. La forme des pyramides ne dépend pas du style, mais elle résulte de la méthode employée, dictée par les pierres (grandes ou petites) des couches géologiques.

Fig. S6 : Pyramides à textes

Le prototype est la pyramide d'Unas.

La pyramide d'Unas (Ve dynastie) est implantée immédiatement au sud du complexe funéraire de Djoser à Saqqarah. Elle appartient à la même couche de l'Éocène supérieur, "tafla", et de l'Éocène moyen.

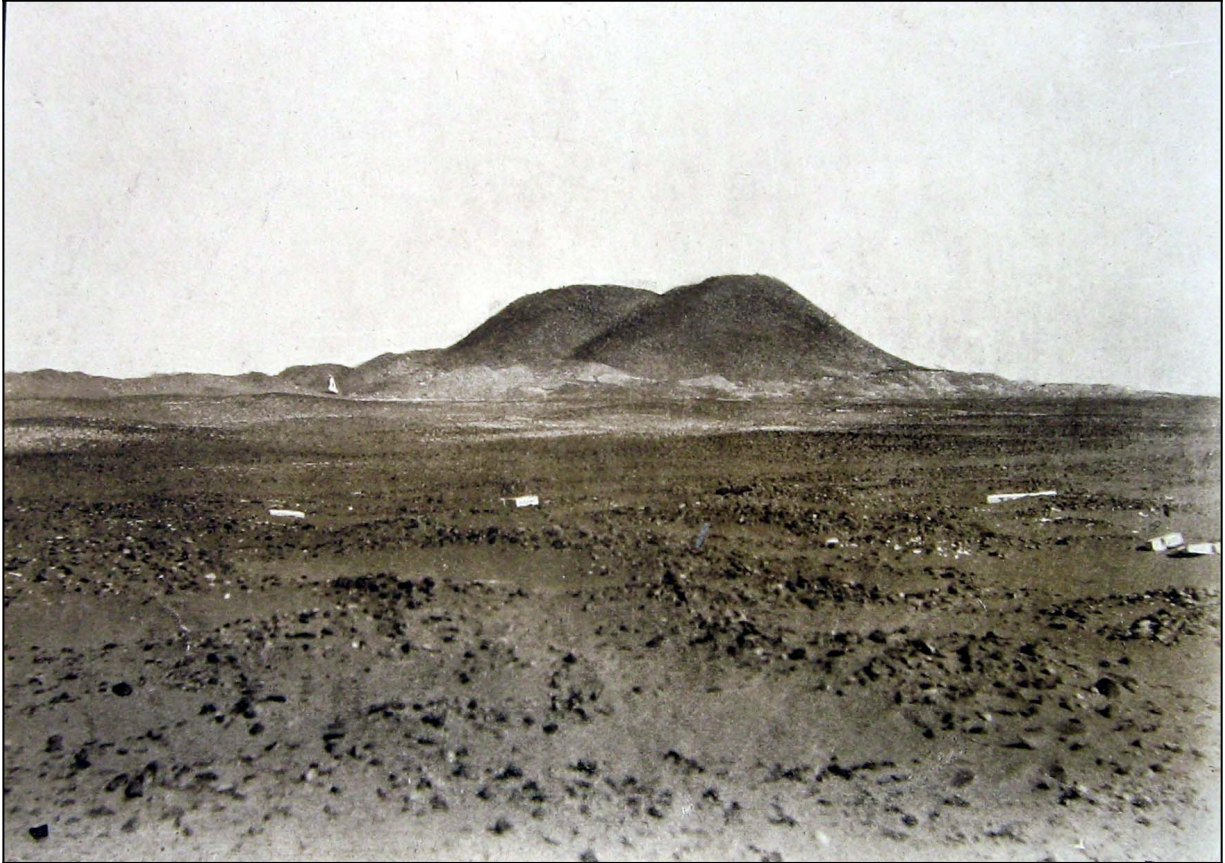


Angle sud-ouest de la pyramide d'Unas

Il est constitué d'un noyau de petites pierres (Éocène supérieur) exploitées à la surface de la couche, elle-même reposant sur un banc de galets sur Tafla. Le noyau est entouré de grosses "pierres d'appui" provenant des couches sous-jacentes (Éocène moyen).

Fig. S7 : Pyramides en briques (XIIe dynastie)

Elles sont toutes implantées sur un sol caillouteux, à l'extrême limite de la plaine alluviale qui a fourni le matériau de fabrication des briques (loam du Nil). Séchées au soleil, les briques ont ensuite été transportées sur le chantier, au plus près, mais à l'abri des inondations.



La pyramide en briques de Sésostriis III à Dashour Est. Devant, la plaine inondable de l'époque.

Fig. S8 : Pyramide rhomboïdale

Vue du dessus, où l'on peut voir (malgré l'érosion et un glissement partiel) que les blocs sont empilés de façon parallélépipédique, en boutisses, c'est-à-dire perpendiculairement à chaque face.



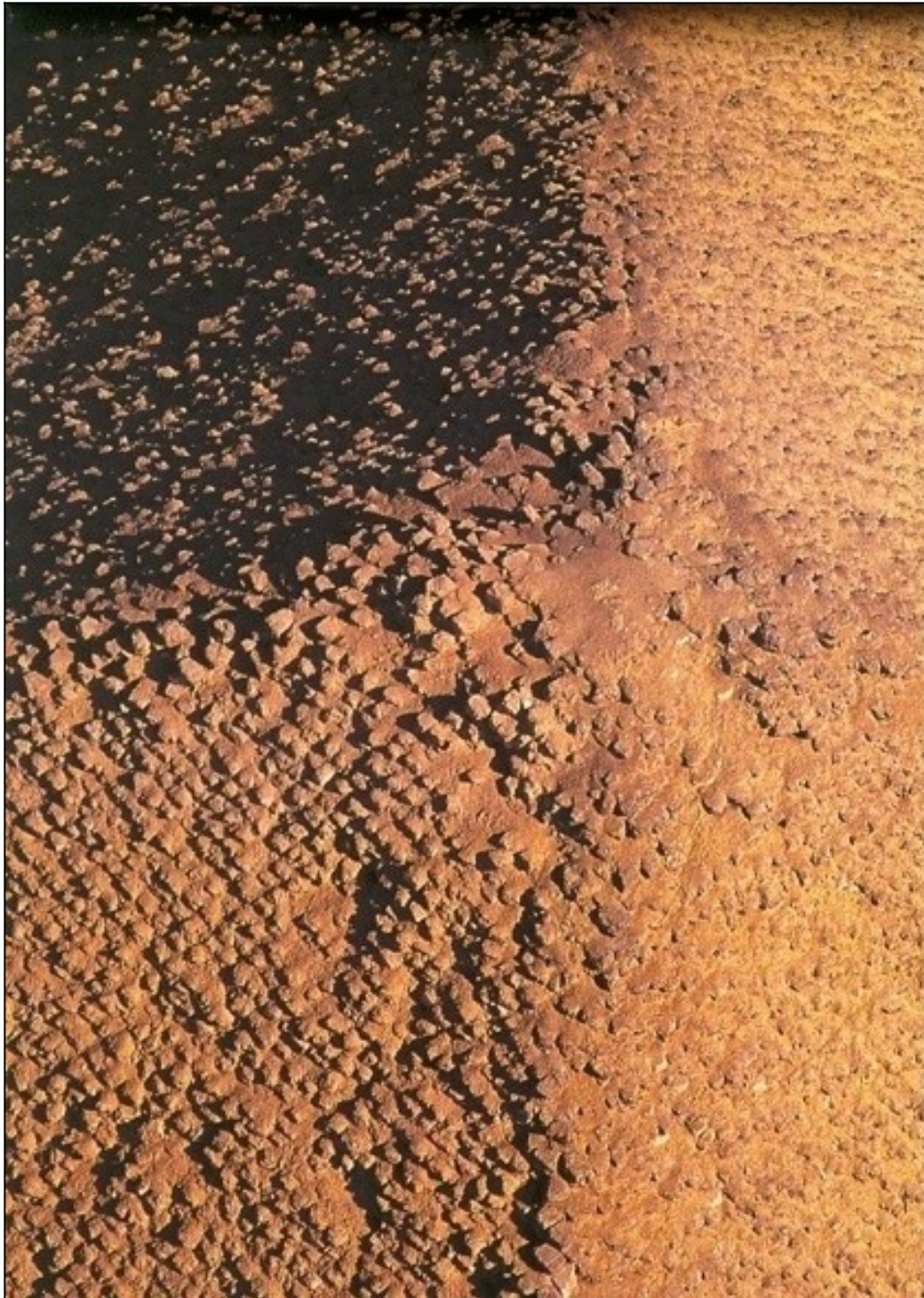
Photographie de M. Bertinetti pour White Star, publiée par NGS dans "Égypte entre Ciel et Terre" (2004)



La pyramide rhomboïdale est également construite au centre de sa propre carrière. On peut voir les fossés dans les zones où les pierres ont été prélevées. (Photographie de M. Bridges : "Egypt : antiquities from above" - Boston, 1996)

Fig. S9 : Disposition des blocs “à l'arrière”

Vue du sommet et des arêtes de la Pyramide Rouge (teinte de la pierre), où l'on peut voir l'organisation des blocs en boutisses, malgré l'érosion.



Photographie de M. Bertinetti / White Star éditée par NGS dans “*Égypte entre Ciel et Terre*” (2004)

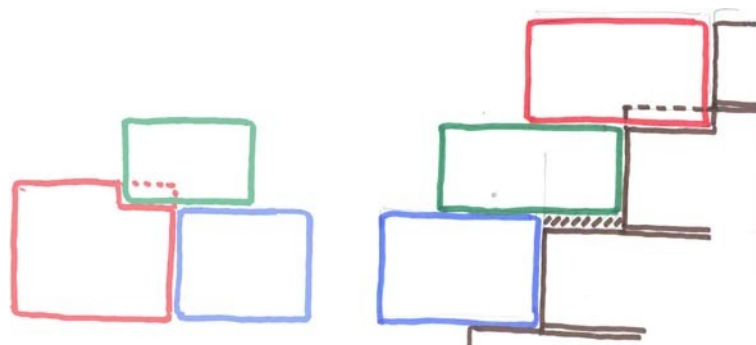
Fig. S10 : Sommet de la pyramide de Khéops

Vue des encoches sur chaque bloc, dues à la disposition horizontale avec des évidements qui permet de placer correctement un bloc (crossas) sur deux autres (bomides) sur une face du cône enveloppant ainsi que de l'un des cônes sur un autre cône-enveloppe.

Ces encoches prouvent l'utilisation du système d'accrétion pyramidale (P. CROZAT - 2002).



Photographie de M. Bertinetti / White Star éditée par NGS dans "Égypte entre Ciel et Terre" (2004)



sur une enveloppe et d'une enveloppe à l'autre

"Arrangement horizontal avec encastremets" (A. CHOISY)

Fig. S11 : Pyramides de Shaanxi - RPC. CQFD

Ils sont faits de terre meuble : terre limoneuse, riche en calcaire, fertile, composée d'éléments fins facilement transportés par le vent, comme dans le Shaanxi.

La terre a été prélevée directement autour du bâtiment. La topographie et la répartition des champs montrent clairement la zone d'extraction.



Pyramides de terre de Shaanxi à Xi'an - RPC

Ici aussi, la pyramide commence sur le sol originel par un premier "tas" qui grandit par enveloppes successives selon une logistique algorithmique adaptée au matériau. Elle offre la démonstration ontologique directe du lien entre les matériaux et le site, la méthode constructive adaptée et la construction (pyramide sur sa propre carrière). CQFD

* * *

¹ **Pierre CROZAT*** - Français - Architecte - Urbaniste diplômé de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne - EPFL (1971) (Prix de la Société des Ingénieurs et Architectes - SIA (CH) (1971), Ingénieur en génie civil de l'Institut National Polytechnique de Lorraine -INPL (F)/Ecole Nationale Supérieure des Mines de Nancy - ENSMN (2002) sous le titre "*Le génie des pyramides*" (Félicitations du Jury présidé par le Dr. Hany HELAL) ; Directeur de thèse : Prof. Jack-Pierre PIGUET Directeur ENSMN et Prof. Thierry VERDEL, Directeur du Laboratoire Environnement, Géomécanique et Travaux - LAEGO.

² **Thierry VERDEL** - Français - Prof. Département de Géomécanique /ENSMN (F), actuellement Recteur de l'Université francophone Léopold SENGHOR d'Alexandrie (Égypte).

³ En particulier la pyramide de Khéops, "la plus énigmatique" en raison de ses caractéristiques intérieures : couloirs, salles et grande galerie, qui, à la suite de notre étude, sera "la plus révélatrice" du système constructif des grandes pyramides.

⁴ **Théories bibliques** : John TAYLOR, *The great pyramid : Why was it built and who built it ?*, 1859 ; C. 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* ; D. DAVIDSON ; Adam Rutherford, *Pyramidology*, 1972 ; Georges BARBARIN, *Le secret de la grande pyramide ou de la fin du monde adamique*, 1936,

⁵ **Théories théosophiques** : W. MARSHAM ADAMS, *The house of the Hidden Places* et *The book of the master*, Londres, 1845. J. RALSTON SKINNER, *La source des mesures*, qui fait un rapprochement avec la cabale juive, clef ésotérique de la Bible ; H.P. BLAVATSKY, *Isis Dévoilée*, 1931 ; Édouard SCHURÉ, *Les grands initiés*, Paris, Perrin, 1961 ; Georges BARBARIN, *Le secret de la grande pyramide ou de la fin du monde adamique*, Hadyar, 1936 ; André POCHAN, *L'énigme de la grande pyramide*, 1971 ; Michel Claude TOUCHARD, *Les pyramides et leurs mystères*, 1966.

⁶ **Théories astronomiques** : JOMARD, *Description générale de Memphis et des pyramides, accompagnée des remarques géographiques et historiques, ainsi que Remarques et recherches sur les pyramides d'Égypte, et Exposition du système métrique des anciens Égyptiens, 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 entourent, Antiquités, Mémoires*, t. 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 MACHAUGHTON, *A scheme of Egyptian chronology*, 1932 ; Cotsworth, *The national Almanac*, 1902.

⁷ **Théories mathématiques** : 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 ; K. KLEPPISCH, *Die Chéops pyramide, ein Denkmal mathematischer Erkenntnis*, 1921 ; F. Noetling, 1921 ; I.E.S. EDWARDS, *Les pyramides d'Égypte*, Tallandier, 1981.

⁸ **Théories des rampes frontales** : Prof. J. DAVIDOVITS, *Ils ont bâti les pyramides*, Paris 2002, *La nouvelle histoire des pyramides*, Paris 2004, *Bâtir les Pyramides sans Pierres ni Esclaves ? La science défie les égyptologues*, Paris 2017 ; Prof. G. DEMORTIER, 2004 ; et J. BERTHO, *La pyramide reconstituée*, 2001

⁹ **Rampes latérales ou enveloppantes (externes ou internes)** : Louis CROON, *op. cit. (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.

¹⁰ Les pyramides à degrés de la 3e dynastie ont été peu étudiées, sauf celle de Djoser à Saqqarah par l'égyptologue-architecte français J-Ph. LAUER, qui pensait qu'il s'agissait d'une superposition de Mastabas. Cette vision est "formaliste" et non "constructive" Nous avons démontré dans la thèse (P. CROZAT - 2002) au chapitre "Continuum technique des ouvrages tumulaires" que la méthode appropriée existait dès les premières épurations rurales du Néolithique.

¹¹ **Pyramide à degrés devenue pyramide lisse** : L. BORCHARDT, E. GUERRIER, *Le principe de la pyramide égyptienne*, 1981, *Les PYRAMIDES l'enquête 2006*.

¹² **Accrétion de décroissance des parois** : H. STRAUB-ROESSLER, A. CHOISY

¹³ **Croissance pyramidale algorithmique** : Pierre CROZAT- Doctorat (1990-2019), "*Système constructif des pyramides*" 1996, "*Le génie des (grandes) Pyramides*" 2002.

¹⁴ Photographie du tumulus néolithique Maes Howe de l'ORKNEY (ORCADES, au nord de l'Écosse) (plus de 20 pieds de haut et 100 pieds de diamètre) date du Néolithique (de 3000 à 2800 av. J-C) est le prototype le plus expressif de la méthode "vernaculaire" : exploiter autour du bord pour abonder au centre. (Éd. National Geographic - Revue août 2014).

¹⁵ Myriam WISSA : "La pierre de construction de l'Ancien Empire dans les complexes funéraires royaux de Memphis et Letopolis : Études typologiques et lexicographiques" (Paris 4 Sorbonne.- 1995). Cette thèse est une recherche pluridisciplinaire portant sur l'archéologie-égyptologie et la pétrographie et stratigraphie (géologie). Elle s'intéresse à la nature et à l'origine des pierres de construction utilisées dans les complexes funéraires royaux de l'ancien royaume et à la raison du choix des matériaux.

¹⁶ A. CHOISY, *L'art de bâtir chez les Égyptiens*, Histoire de l'architecture, Chapitre II ÉGYPTÉ - Ed. Inter-Books

¹⁷ Premier livre "SYSTÈME CONSTRUCTIF DES PYRAMIDES" Pierre CROZAT - Ed. Canevas (F) & (CH) -1996 - ISBN 2-8838-064-3-

¹⁸ M. RUHLAND : *Recherches sur la fracturation naturelle des roches (1969 - 1972) - Méthode d'étude de la fracturation naturelle des roches associée à divers modèles structuraux*. Institut de Géologie, Université Louis Pasteur, F 67084 Strasbourg Cedex - Équipe de recherche associée au C.N.R.S. "Géologie structurale et analyse tectonique". Bulletin de la Société Géologique, 26, 2-3, p. 91-218, Strasbourg, 1973 (Louis-Jean Imp., 1973).

¹⁹ Conférence publique donnée au CULTNAT / Smart Village / LE CAIRE le 26/09/2017 par Pierre CROZAT.

²⁰ J. CUVILLIER, *Révision de la nummulitique égyptienne* - Ed. Le Caire, imp. Schindler, 1930. In-4, 372 p., Pl. (Mémoires de l'Institut d'Égypte.) (p.538).

²¹ Une simulation 3D de la paléo-topo-stratigraphie du plateau de Gizeh a été réalisée avec l'aide du département de géo-ingénierie de l'École des Mines de Nancy (Prof. J. SAUSSE et étudiant Th. BURLETT) en 2015.

²² Institut de Géographie Nationale - IGN, Paris (F), établi par restitution photogrammétrique, ainsi que le relevé topographique numérisé du plateau GIZEH : Giza Plateau Mapping Project dirigé par Mark LEHNER (AERA).

²³ Comme envisagé intuitivement dans "SYSTÈME CONSTRUCTIF DES PYRAMIDES" (p.143-144) Pierre CROZAT - 1996.

²⁴ SCAN PYRAMIDS est une mission sous l'égide de la République arabe d'Égypte / Ministère des Antiquités, conçue par HIP INSTITUTE Heritage-Innovation-Preservation et réalisée par la Faculté d'ingénierie de l'Université du CAIRE.

²⁵ Comité (RAE) de célèbres égyptologues-archéologues composé de Zahi HAWASS (EG), M. LEHNER (USA), R. STADELMANN (D) tous suivant la solution rampante.

²⁶ Voir : LETTRE OUVERTE (officielle) de P. CROZAT au 10/11/2017 au Dr. Hany HELAL, Prof. à la Faculté d'Ingénierie de l'Université du Caire, Dr. en mécanique des roches et à ce titre président du jury de thèse de Pierre CROZAT sur "L'ingénierie de la pyramide" (2002) et directeur scientifique de SCAN PYRAMIDS.

²⁷ P. CROZAT dans le "Système constructif des pyramides".

²⁸ Jean-Philippe LAUER (1902-2001) architecte français, versé très tôt dans l'égyptologie-archéologie, a travaillé toute sa vie sur le site de Saqqarah (pyramide à degrés de Djoser), il est l'auteur de la "théorie de la rampe frontale" de la grande pyramide de Khéops dans son livre "*Le mystère des pyramides*" (Ed. Presses de la Cité - France - 1988 - ISBN : 2-258-02368-8) et du rapport Hauteur / $\frac{1}{2}$ Base = 14/11, un nombre irrationnel (anachronique selon l'Histoire des Mathématiques ou même ésotérique douteux) dans le chapitre II "*Connaissances scientifiques - La Géométrie des Pyramides*" (p.227-237) que cette étude "SYSTÈME CONSTRUCTIF DES PYRAMIDES" conteste fondamentalement. Un échange de lettres entre J-Ph. LAUER (de sa main) et P. CROZAT - 1997) explique les raisons de cette confrontation ; il a été conservé et peut être produit. Cette ambiguïté correspond au courant ésotérique d'une architecture dite sacrée.

²⁹ Michel SERRES (1930-2019) ("*Les origines de la géométrie*" - Paris, Ed. Flammarion, 1993) est un philosophe, historien des sciences et des mathématiques, épistémologue et homme de lettres français, élu à l'Académie française en 1990. Son expression "Logistique ou Algorisme" qui relie la Logistique à l'Algorisme (du nom du mathématicien perse Al KWRITZMI de l'école de Bagdad - et de son collègue égyptien Al KAMAL, sous le califat d'AL MAMOUN - le commanditaire de la sape de la pyramide de Khéops - au IXe siècle) est un brillant raccourci épistémologique qui suggère sa source car, vu l'efficacité de cette sape, il est fort probable que le calife était bien informé !

³⁰ La grave erreur de Platon qui a cru que Zénon représentait le savoir des anciens Égyptiens.

³¹ Ce sont surtout les égyptologues des théories bibliques, théosophiques et astronomiques.

³² Ces compétences des Métiers de la Pierre ont été apportées par la collaboration avec le Compagnon J.-P. FOUCHER ex-directeur de l'Institut Supérieur de Recherche et de Formation des Métiers de la Pierre - ISRFMP à Rodez (F) et Le Compagnon R. MOREL Tailleur de pierre (Maître d'Art), membres de l'Association Œuvrière des Compagnons du Devoir du Tour de France AOCDTF (siège à Paris - France).

³³ PYTHAGORE de Samos (VI^e siècle av. J.-C.) mathématicien initié en Égypte est l'auteur du théorème de l'angle droit qui porte son nom (que les Égyptiens pratiquaient bien avant lui), mais aussi de séries de nombres figurés (dites "sacrées") ou de séries de suites arithmétiques (linéaires, triangulaires, carrées) qui intéressent le sujet de la construction des Grandes Pyramides car elles ouvrent à la croissance pyramidale et à l'algorithme.

³⁴ NATIONAL GEOGRAPHIC "ÉGYPTÉ entre ciel et terre" ©Édition française - 2004 - ISBN 2-84582-133-6.

³⁵ WHITE STAR LLP est l'éditeur exclusif des livres et guides National Geographic pour l'Italie depuis 2001. Prestigieuse institution américaine à but non lucratif, fondée en 1888, la National Geographic Society a pour objectif la divulgation et l'éducation scientifiques.

³⁶ Photographie réservée à l'ancien Secrétaire Général du Conseil Suprême des Antiquités d'Égypte, Dr. Z. HAWASS pour son album "Treasures of THE PYRAMIDES" Ed. White Star LLP - Vercelli (I) - ISBN 978-88-6112-382-3.

³⁷ Ce commentaire dénote le même syndrome que chez les architectes "formalistes", pour ne parler que des architectes pyramidaux, c'est-à-dire une phobie de la notion de "système", un système qui, selon eux, les priverait de leur créativité.

³⁸ Auguste CHOISY, ingénieur polytechnicien et architecte (1841-1909), *Histoire de l'architecture* - Ed. Inter-Livres - Chapitre II ÉGYPTÉ - Paragraphe : Dispositif, Détails de l'Exécution des Murs et des Massifs : p.28 et 29), décrit les trois procédés utilisés (avec le croquis correspondant), dans la construction des pyramides : "le dispositif par sièges fixes A (qui correspond à Chéphren -NDR) ; B la machine à déposer B (que l'on trouve à Chéops et Mykérinos - NDR - "l'équipement le plus efficace en travail", dira-t-il) ; C le dispositif par placages successifs (qui correspond aux pyramides à degrés de Djoser - NDR).

³⁹ Edgar Nahoumsay MORIN (1921 - Paris) (*Introduction à la pensée complexe*, ESF Ed., Paris. 1990) est un sociologue et philosophe français. Penseur de la complexité, il définit son mode de pensée comme "co-constructiviste" en affirmant : « Je parle de la collaboration du monde extérieur et de notre esprit pour construire la réalité ».

* * *