

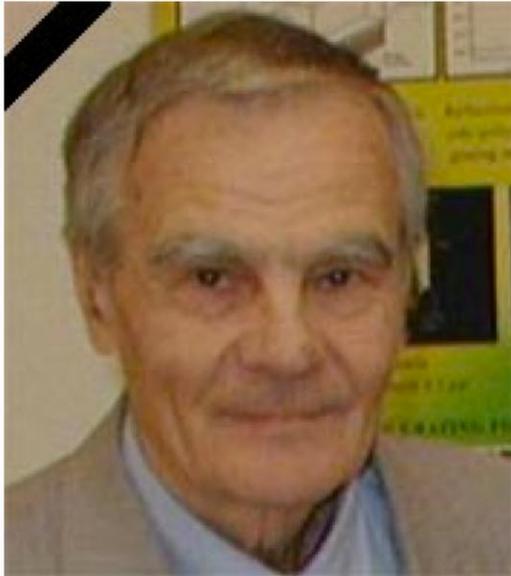
PYRAMIDES :

LE SECRET D'IMOTHEP



2004

JEAN-PIERRE PETIT



**Cet album est dédié à la mémoire de
notre très cher ami Vladimir Golubev
qui aurait été si heureux de voir cet album
Jean-Pierre Petit, président de
Savoir sans Frontières
Nina Esina, traductrice**

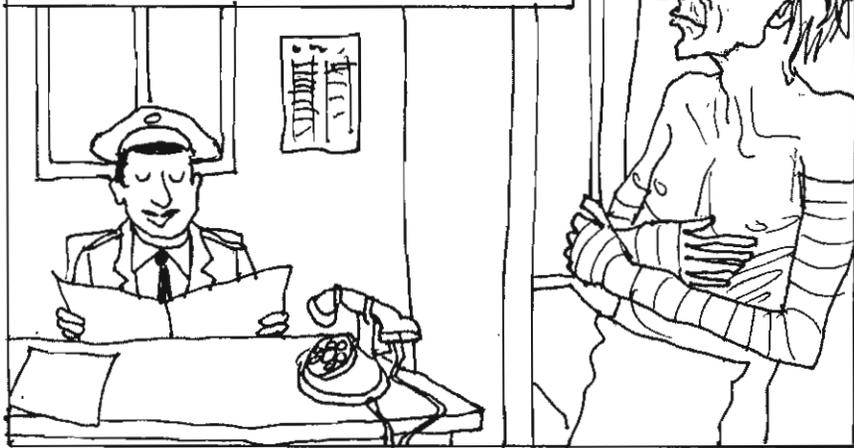
LE CAIRE



Les tombes des pharaons qui se trouvaient dans la vallée des rois avaient été rapidement profanées et pillées. Les prêtres qui en avaient la garde finirent, une nuit, par récupérer toutes les momies, qu'ils abritèrent dans une grotte surplombant le site de la vallée des rois



à l'ouverture du musée on disposa la momie de Ramsès à l'entrée, pour attirer les visiteurs. Selon la coutume Ramsès avait ses deux bras croisés, ramenés sur sa poitrine



un jour, Ramsès écarta son bras gauche de dix centimètres avec un craquement sinistre. Terrifié, le gardien s'enfuit et ne voulut plus remettre les pieds dans le musée, qu'il considéra comme un lieu hanté

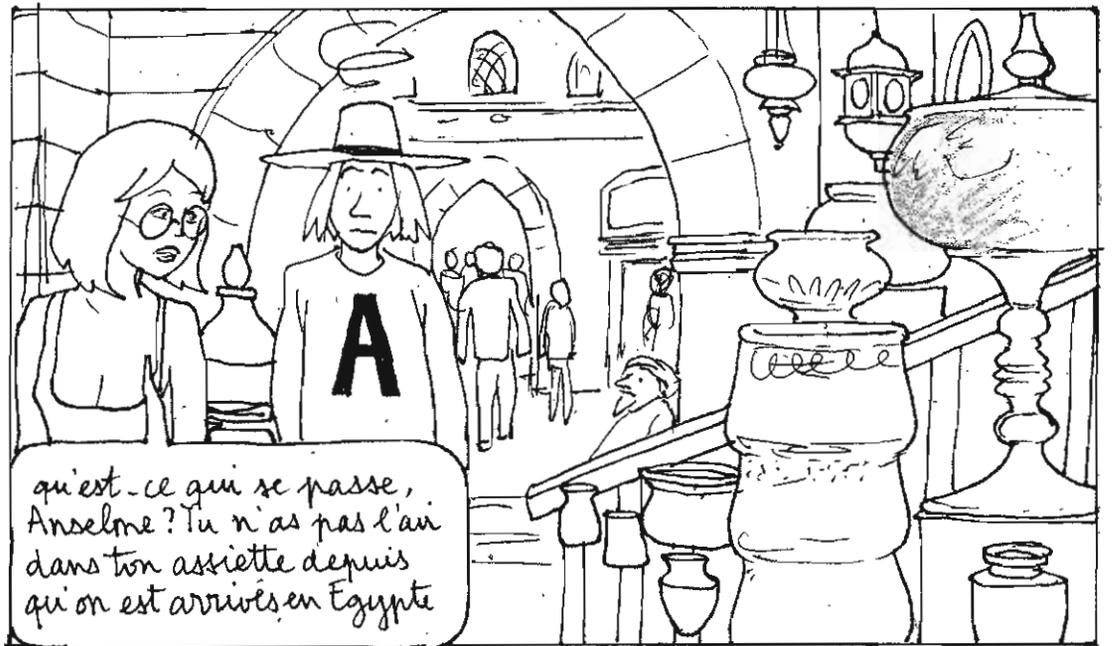




Datant de 4500 ans voici la statue de Rahotep, demi frère de Kheops, et de son épouse Nefret, dotée d'yeux en pâte de verre, si réalistes que lorsqu'en 1871 les ouvriers la découvrirent dans la nécropole de Meidoum ils s'enfuirent persuadés que la tombe hébergeait des êtres vivants (*)



elle est étonnante cette statue du prince avec sa moustache. On dirait un dandy parisien qui aurait été transporté dans l'Ancien Empire égyptien



qu'est-ce qui se passe, Anselme? Tu n'as pas l'air dans ton assiette depuis qu'on est arrivés en Egypte

(*) Voir Annexe page



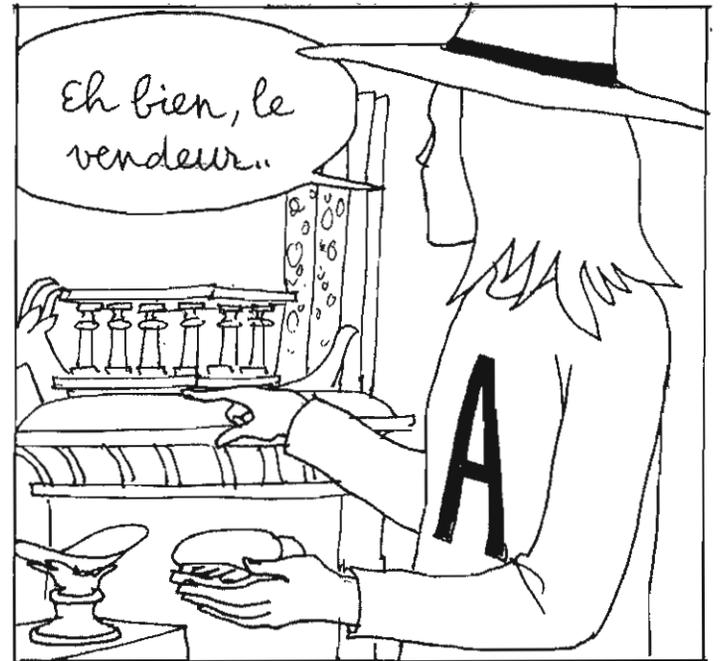
anselme, que penses-tu
de cette statue de Bastet?



c'est le type, là-bas
qui m'a donné ça



Eh bien, le
vendeur...



Je n'ai pas de vendeur
Je... travaille seul
dans ce magasin

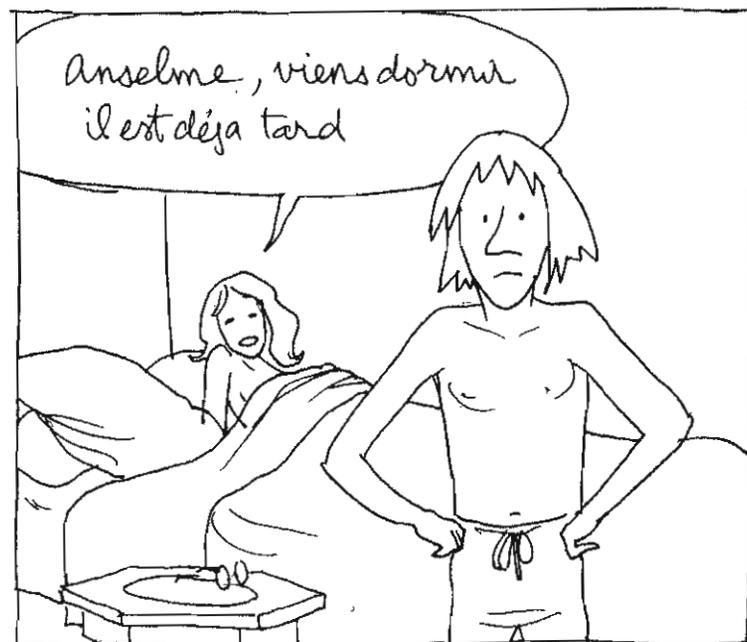
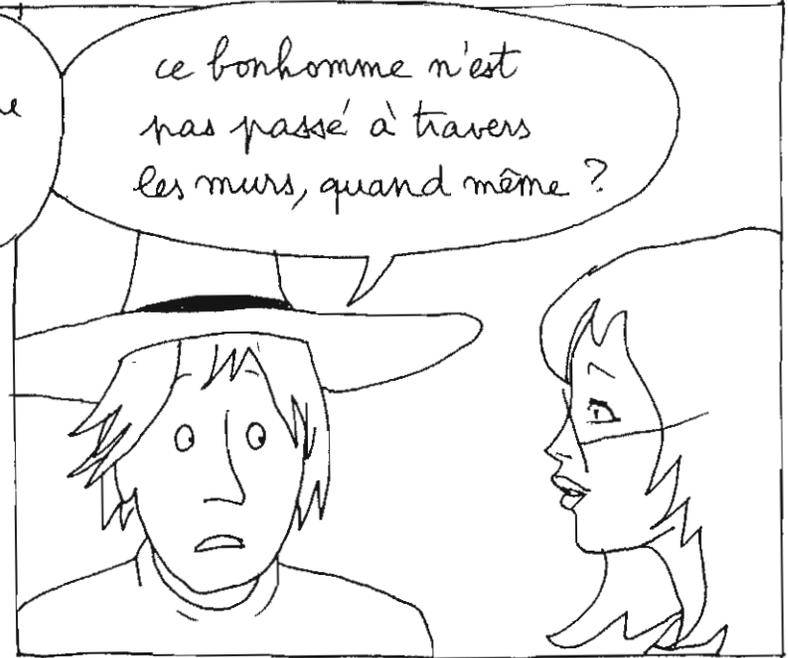
il doit être encore dans
cette salle, au fond

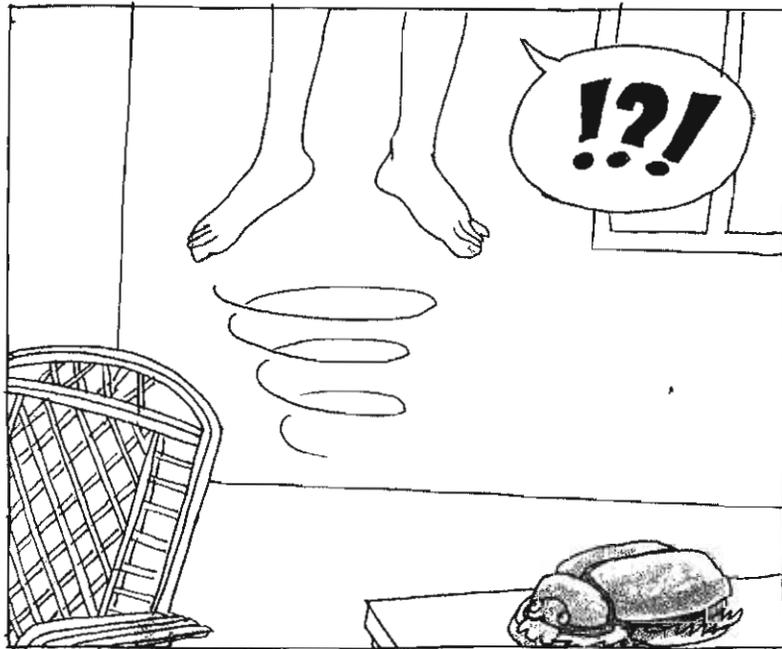


personne!

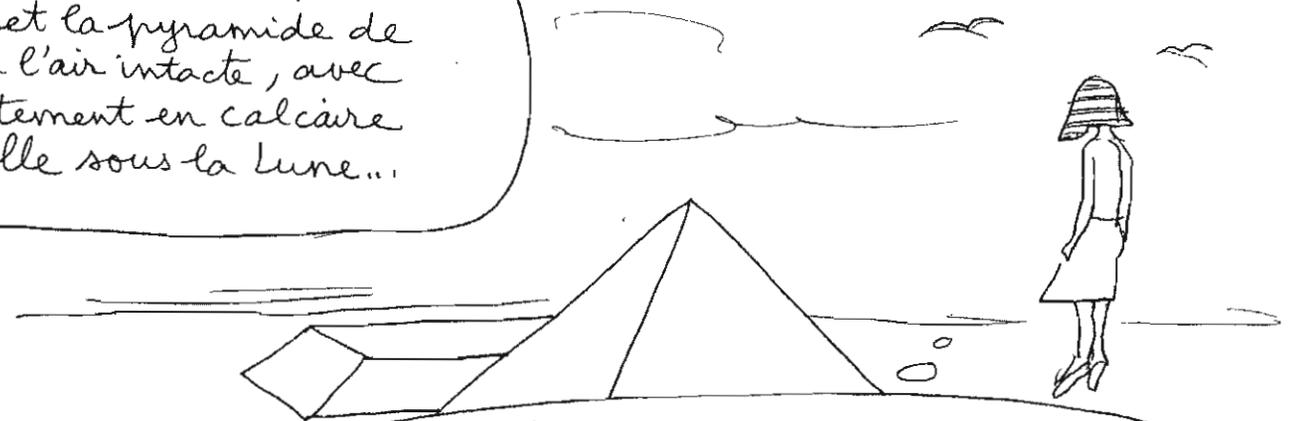


il n'y a personne et cette
arrière salle ne débouche
sur aucune autre issue

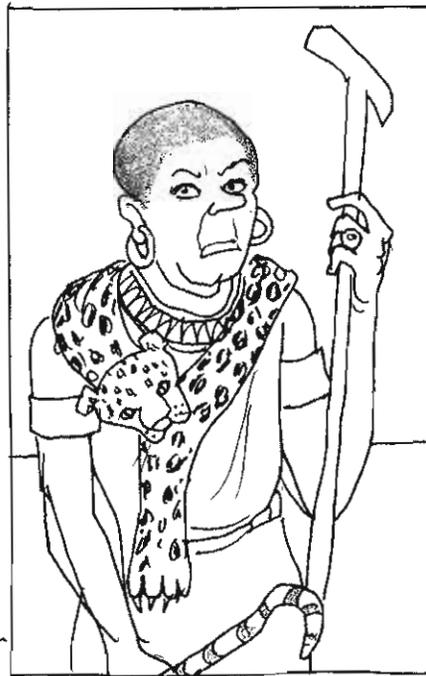


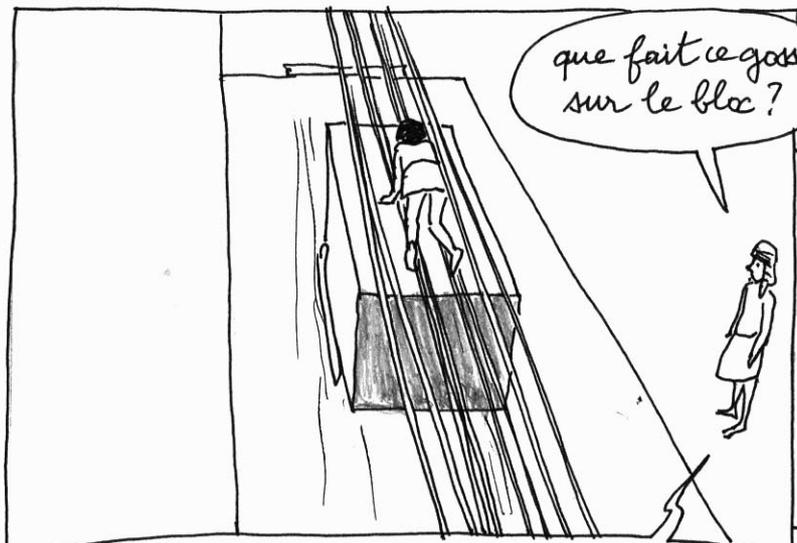


je plane au dessus du plateau
de Giza et la pyramide de
Kheops a l'air intacte, avec
son revêtement en calcaire
qui brille sous la lune...



celle de Kephren est inachevée
et celle de Mykerinos est absente





que fait ce gosse sur le bloc ?



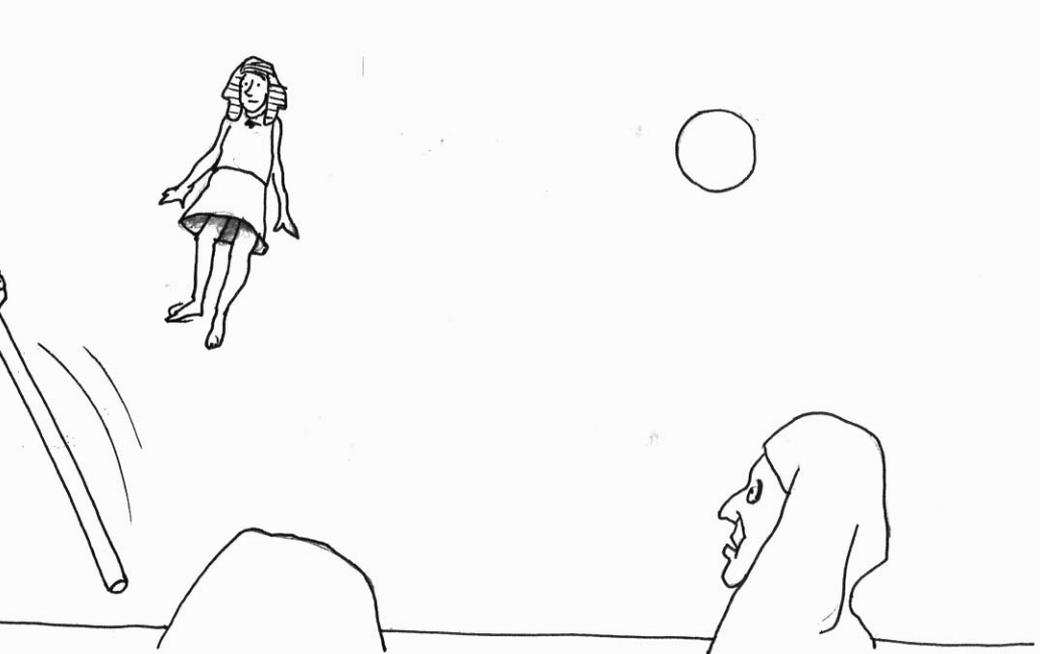
même si c'est un rêve je dois tirer cela au clair



il faut que je voie cela de plus près



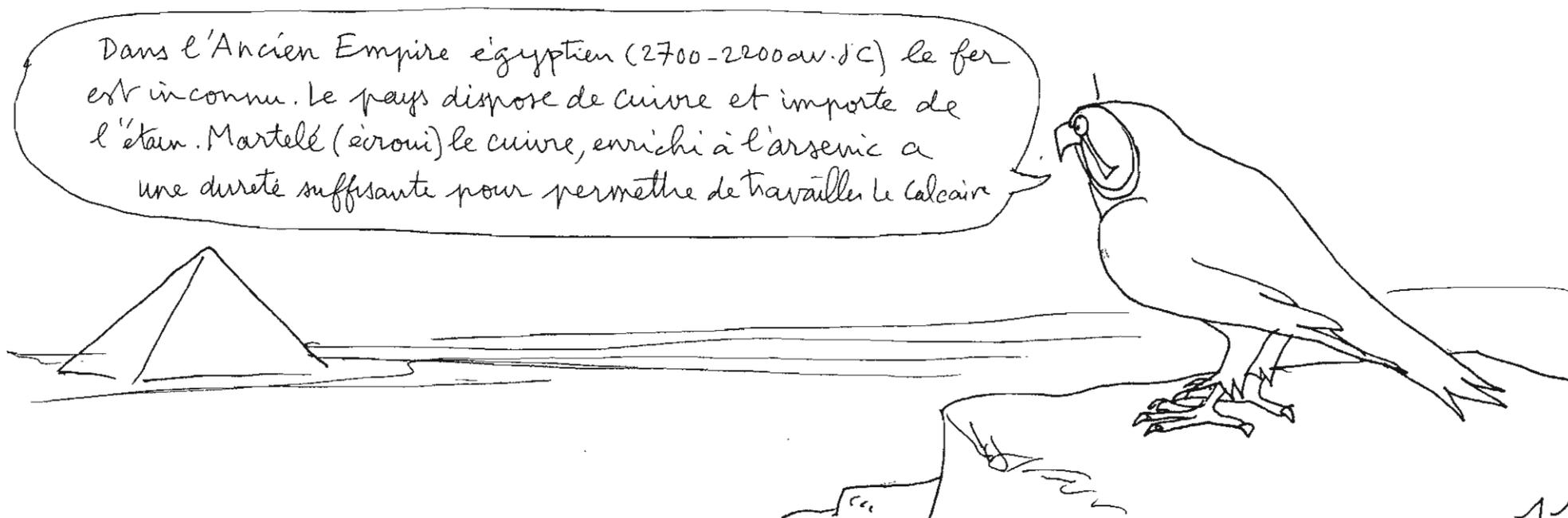
oulah!







avant de passer à la description de cette machine, nous allons passer en revue un certain nombre de principes de l'architecture de l'Egypte antique



LA SISMICITÉ

Peu d'Égyptologues sont conscients du fait que l'intense sismologie de l'Égypte soit la clé qui permet de comprendre les grands traits de l'architecture Égyptienne antique. Rappelons que le temple d'Abou Simbel, construit par Ramsès II, en sculptant une montagne de grès fut ravagé par un séisme en 1245 av J C



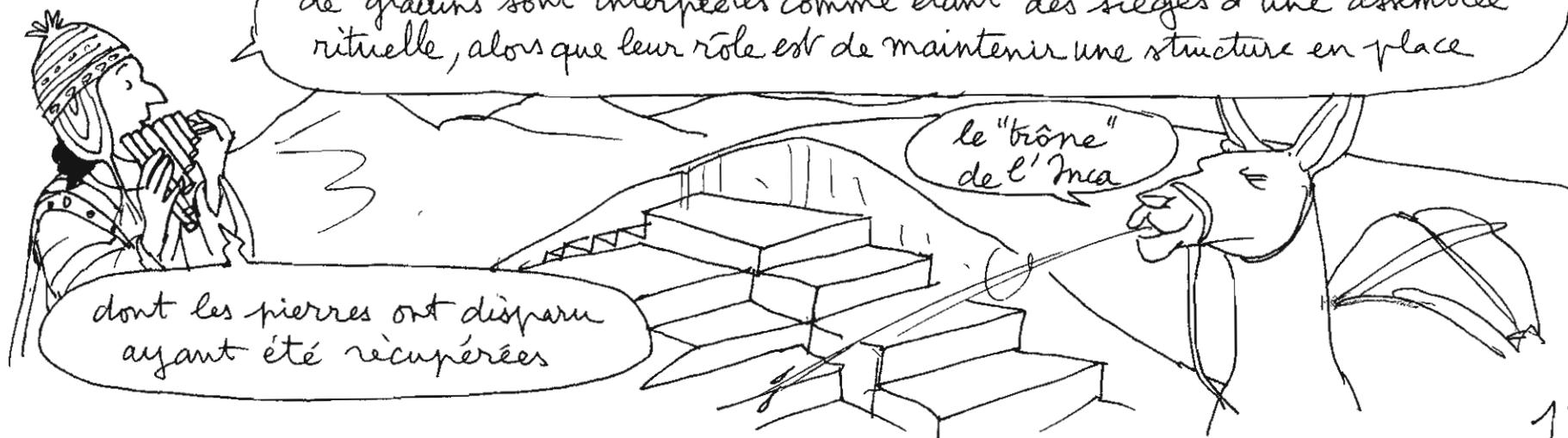
allô, Ramsès ?
Je reviens sur ce que
j'ai dit. Sculpter dans
une montagne ne
constitue pas une bonne
solution. Il vient d'y
avoir un séisme et
j'ai le regret de vous
dire qu'un des colosses
a été complètement
détruit ...

un sous-sol constitué d'une succession de couches mécaniquement différentes constituées, comme à Giza, succession de couches de calcaire et de marne, un soubassement optimal pour atténuer les secousses sismiques. Ceci joua un rôle majeur pour le choix du site - Quand en... au 10e siècle le Caire fut ravagé par un séisme, les pyramides restèrent intactes



mamelon

on retrouve cela dans diverses régions du monde où ces sortes de "gradins" sont interprétés comme étant des sièges d'une assemblée rituelle, alors que leur rôle est de maintenir une structure en place

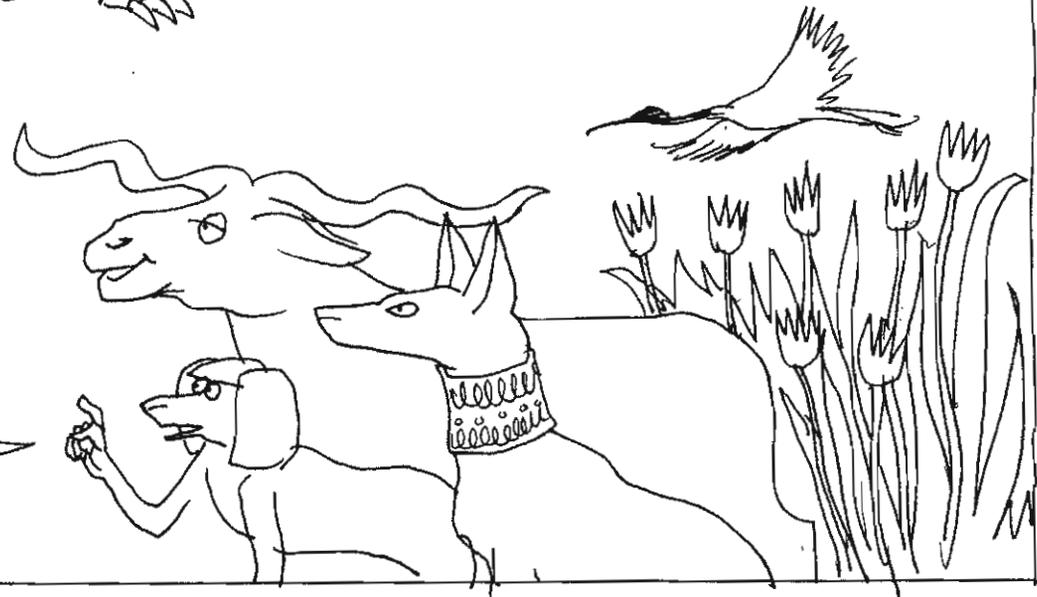
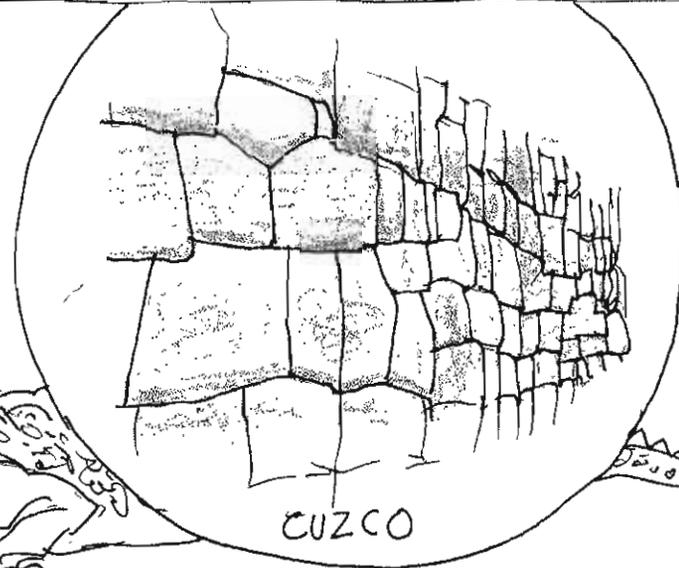


la résistance aux séismes conseille de proscrire toute régularité. Exemple le temple qui se trouve aux pieds du Sphinx, ou le célèbre mur Inca de CUZCO

c'est pour cela que les pyramides sont restées debout ?

en partie. Quand les gens du Caire eurent fini d'enlever la couverture de fin calcaire de Tourah ils laissèrent celui qui était en dessous, qui était de bien moindre qualité

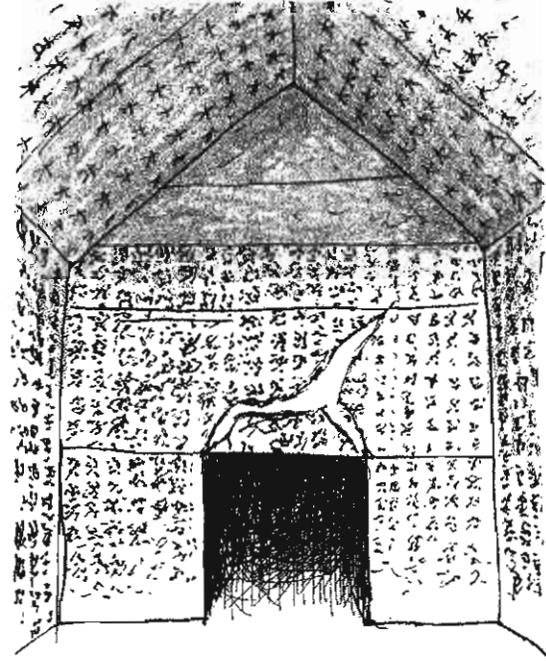
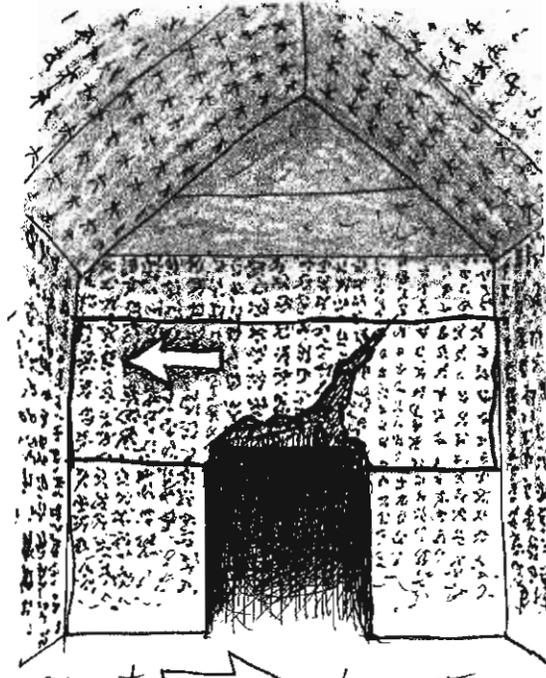
l'idée générale est que ce qui est déjà fendu ne pourra se fendre. La structure "multi-fissurée" des pyramides les rend aptes à absorber l'énergie des plus forts séismes



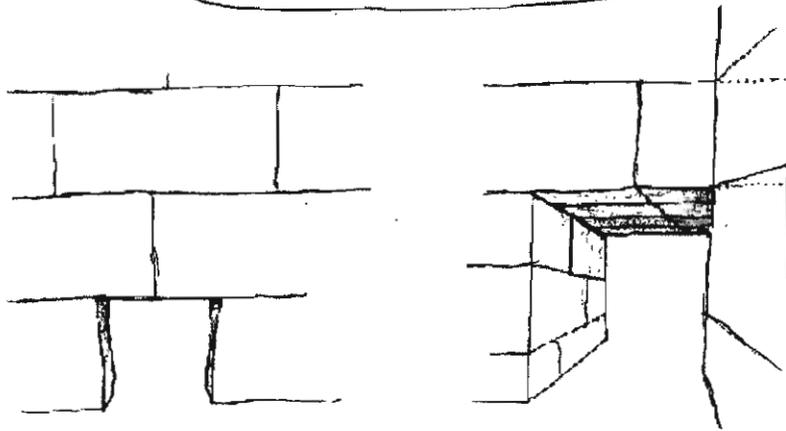
encore faut-il que nos prêtres-architectes fassent correctement leur travail en agencant les blocs



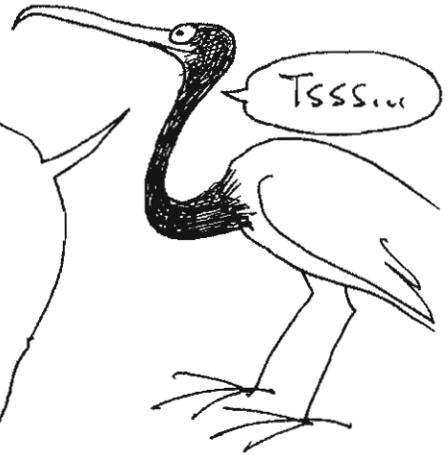
se refusant de recourir à la technique du "linteau fendu"



avant → réparation

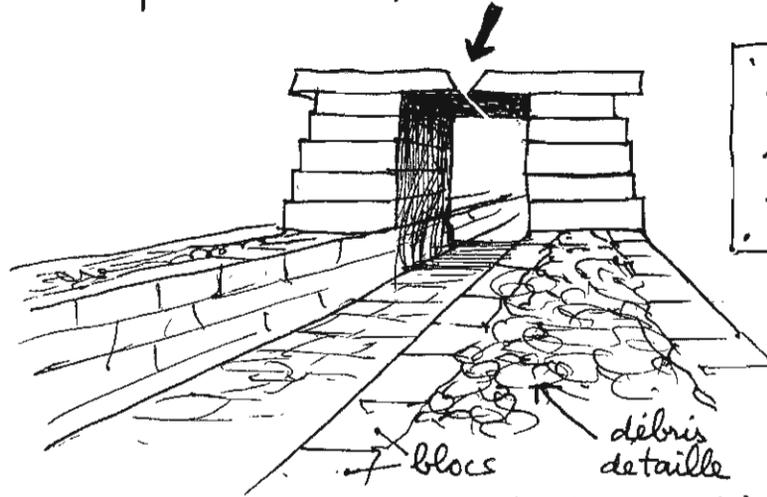


l'architecte du pharaon Ounas (2350 av.JC) pensa que le massif était la solution. Mais l'énorme linteau, subissant un cisaillement, se fendit. Réparé (à droite) il se brisera de nouveau au prochain séisme



Tsss...

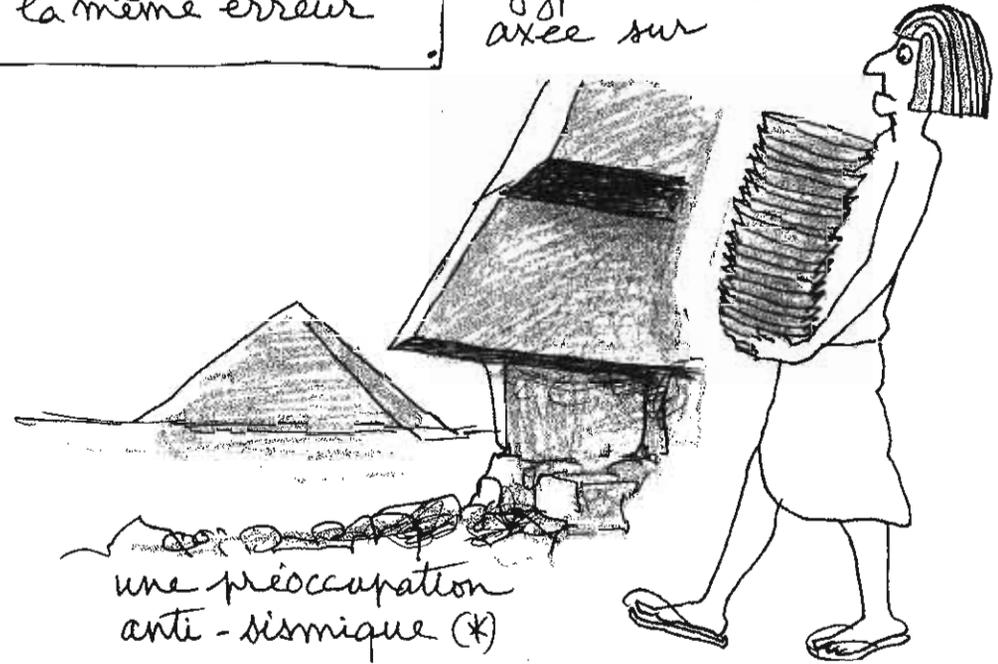
découpe inclinée qui laisse entrer la lumière



mais, un peu plus loin son collègue n'a pas fait la même erreur

pour qui est un tant soit peu attentif toute l'architecture égyptienne est axée sur

Reste de la chaussée d'accès (couverte) de la pyramide d'Ounas (Sakkarah)

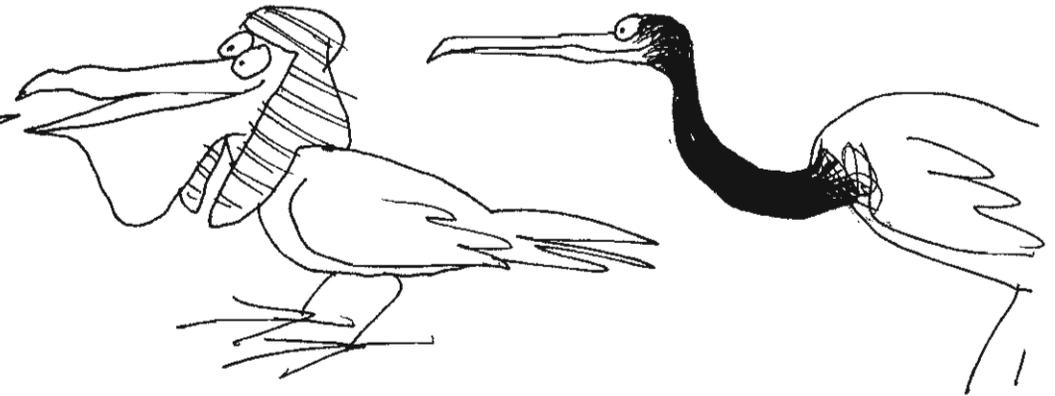


Pyramidion Sakkarah 1230 av. JC



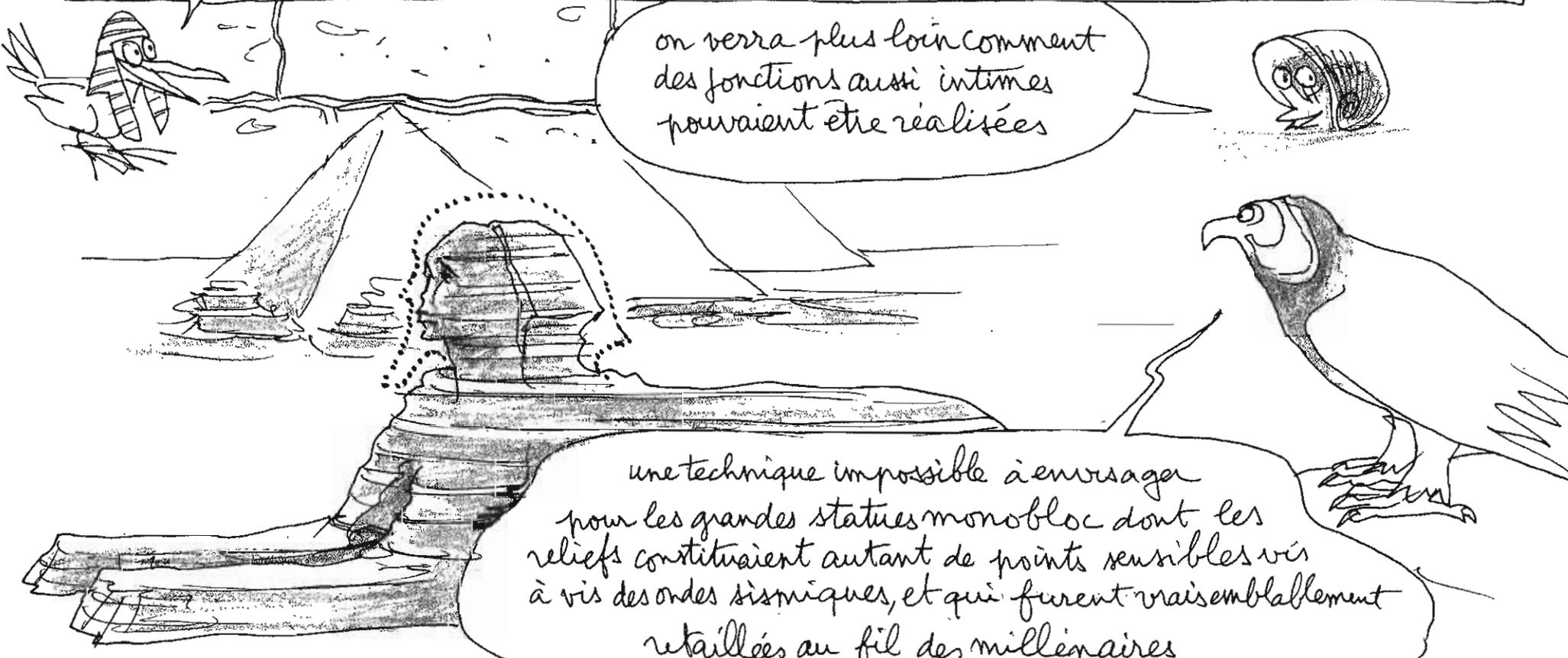
une préoccupation anti-sismique (*)

même les **PYRAMIDIENS**, élément sommital des pyramides, étaient conçus pour rester dans leur logement en cas de fortes secousses



(*) au premier plan les blocs de la **PYRAMIDE RHOMBOÏDALE**, montrant l'inclinaison des lits de pierre et, à l'arrière-plan la **PYRAMIDE ROUGE**, à **DASHOUR**

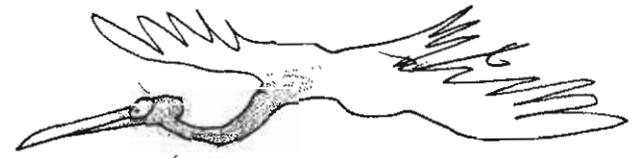
mais il est une chose que les égyptologues n'ont absolument pas comprise : le fait que négocier des surfaces de contact entre les blocs, gauches, non planes, n'était pas subi, mais au contraire recherché par les architectes de l'Antiquité, précisément pour assurer la stabilité de leurs édifices. Des jonctions cimentées se seraient brisées. Des jonctions planes auraient permis un glissement. Seule des jonctions sur des surfaces gauches, même selon des reliefs de quelques millimètres, entraînaient un réajustement automatique, à chaque micro-séisme



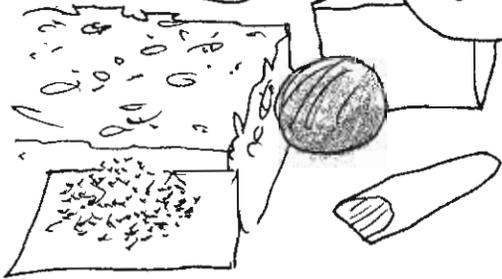
on verra plus loin comment des jonctions aussi intimes pouvaient être réalisées

une technique impossible à envisager pour les grandes statues monobloc dont les reliefs constituaient autant de points sensibles vis à vis des ondes sismiques, et qui furent vraisemblablement retaillées au fil des millénaires

LES MATÉRIEAUX DISPONIBLES



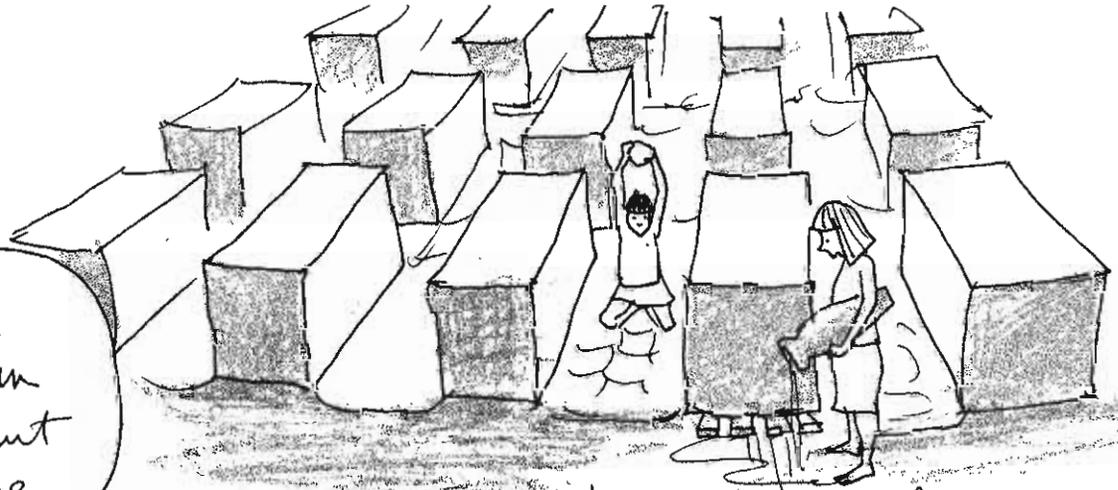
les Egyptiens ont été des maîtres dans l'usage de toutes sortes de pierres possibles et imaginables, allant des roches sédimentaires comme le calcaire et le grès jusqu'à des roches plus primitives comme le granit, le basalte, ainsi que des matériaux abrasifs comme le quartz, ou la dolérite utilisés comme percuteur



des roches comme le calcaire pouvaient se travailler relativement facilement, d'autres, d'une extrême dureté fournissaient des outils

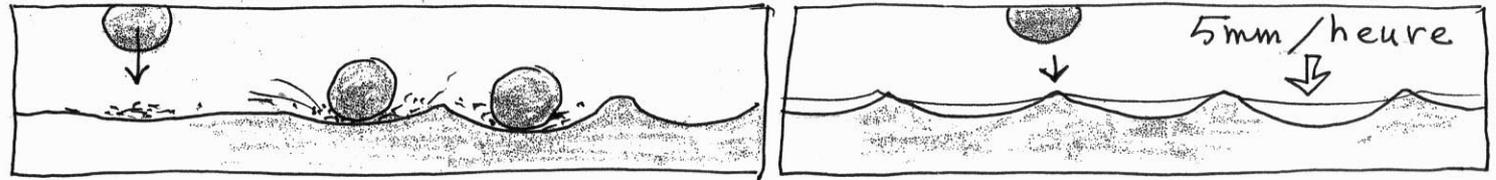


le plateau de Giza était en soi une vaste carrière fournissant un calcaire assez grossier, se présentant en couches, séparées par de la marne

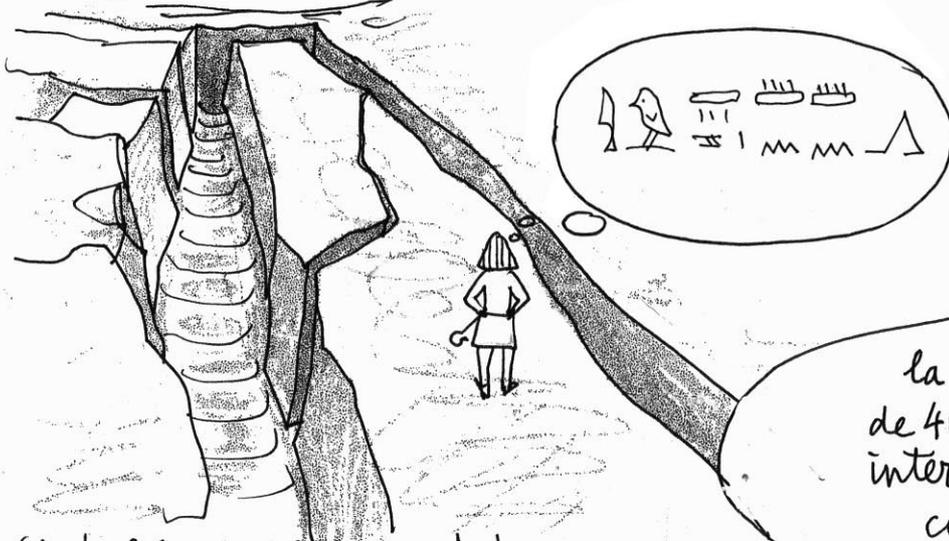
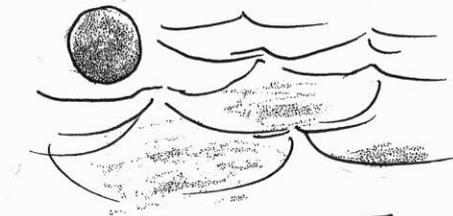


les blocs étaient séparés à l'aide de coins de bois (Georges Goyon)

Faute de disposer d'acier, de fer ou simplement de bronze, les Egyptiens de L'Ancien Empire (*) pratiquèrent avec efficacité un **USINAGE PAR PERCUSSION** (!) Le granite contenait des inclusions sous forme de **BOULES DE DOLÉRITE**, une roche très dure, celles-ci allant jusqu'à la taille de la tête d'un homme



on trouve près de l'obélisque d'Assouan des traces de cette technique donnant des creux évoquant des casiers pour les oeufs. On changeait de point de frappe quand la courbure du creux ainsi ménagé devenait comparable à celle du percuteur utilisé ce qui réduisait l'efficacité de la frappe

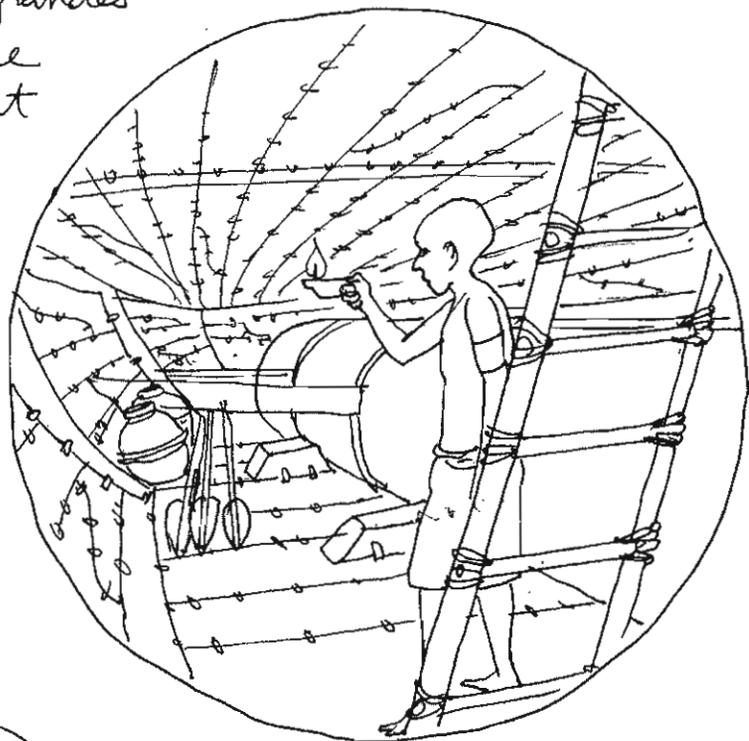
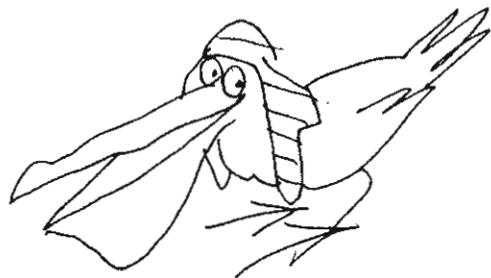
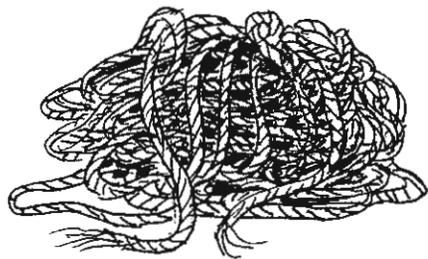


la rupture de cet obélisque de 41 mètres de long, large de 4m à sa base et pesant 1200 tonnes, due à un séisme interrompit les travaux. On verra plus loin comment de tels monstres étaient acheminés

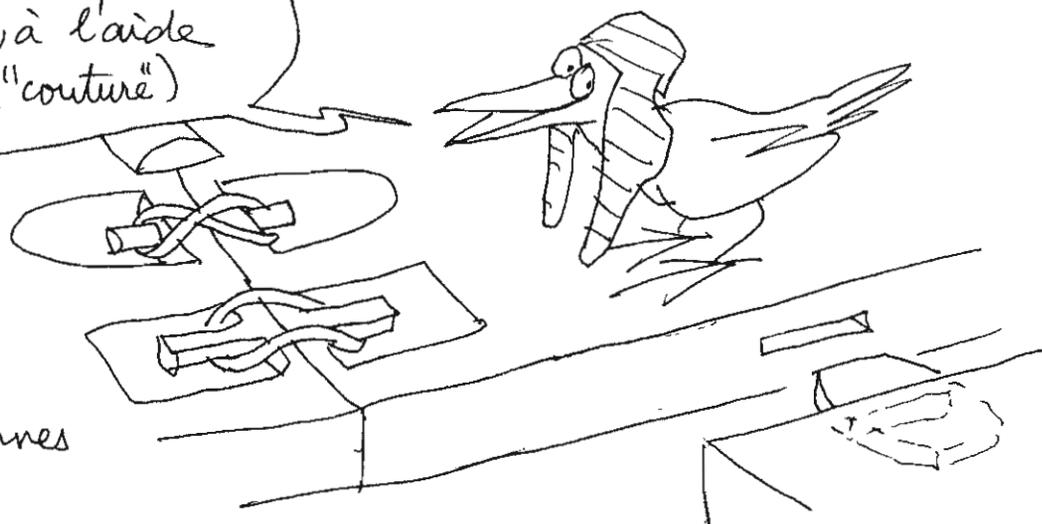
(*) de 2700 à 2200 avant JC

* Efficaces sur du calcaire les outils de cuivre et de bronze n'attaquaient les "pierres dures" comme le granite

Si le bois d'accacia était une production locale, les grandes pièces de bois devaient être taillées dans des troncs de cèdre importés par mer du Liban. Les résines fournissaient colles et vernis. Les Egyptiens de l'Ancien Empire savaient très bien confectionner des cordes en chanvre aussi résistantes que les cordes modernes (*)



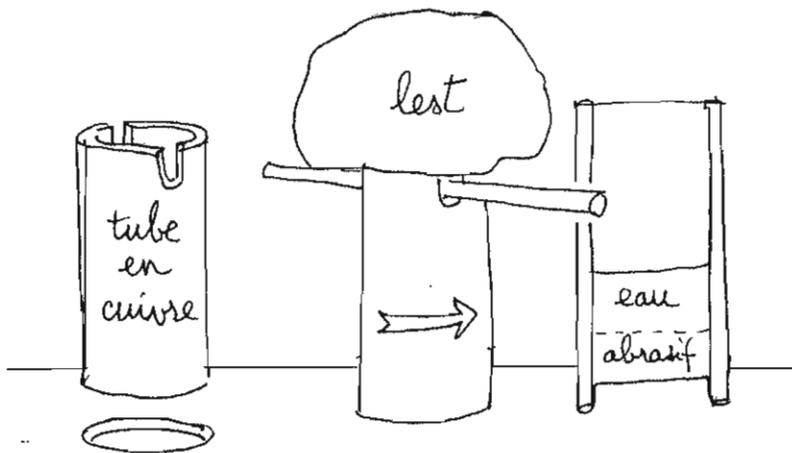
mais comme le bois était quelque chose de rare et de précieux les Egyptiens s'ingénierent, à l'aide de montages complexes, utilisant la corde ("couture") pour en récupérer les moindres fragments



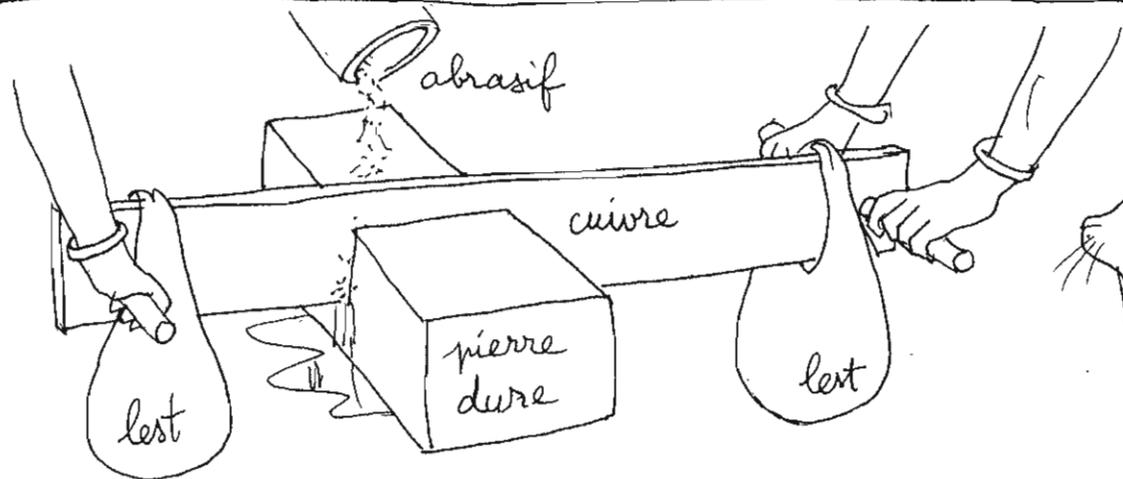
20 (*) corde chanvre diamètre 50mm → 4 tonnes

LES OUTILS

Dans l'Ancien Empire, comme le seul métal disponible était le cuivre, l'attaque directe des matériaux (pierre, bois) était impossible (par exemple avec une scie munie de dents). On avait alors recours à l'**ABRASION**

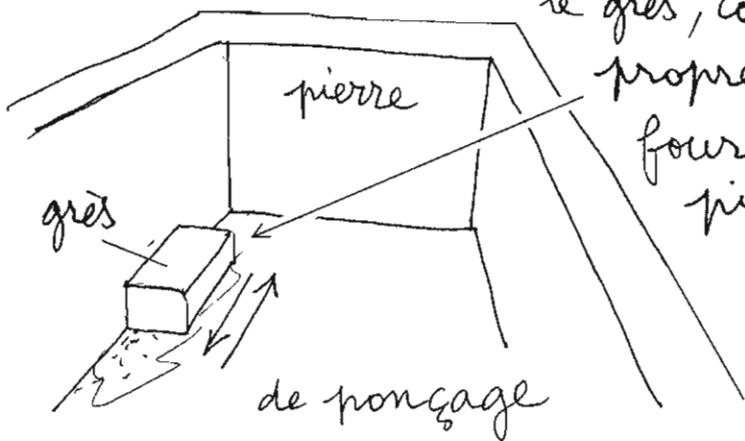


perçage de gond



La poudre de quartz est alors mise à contribution pour opérer toutes sortes d'opérations, de sciage, de perçage, de forage

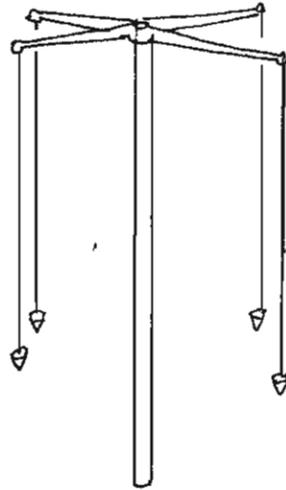
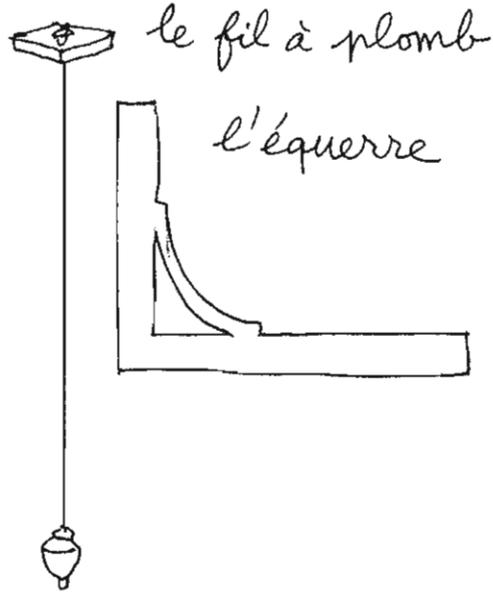
le grès, contenant son propre abrasif fournit d'efficaces pierres à poncer



dans la pierre comme dans le bois



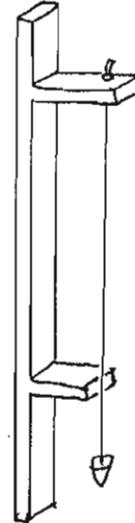
INSTRUMENTS DE MESURE



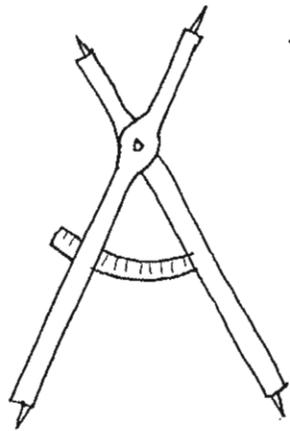
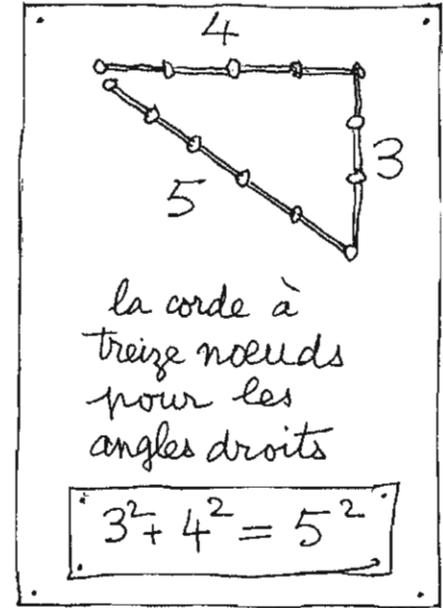
le Groma pour les visées



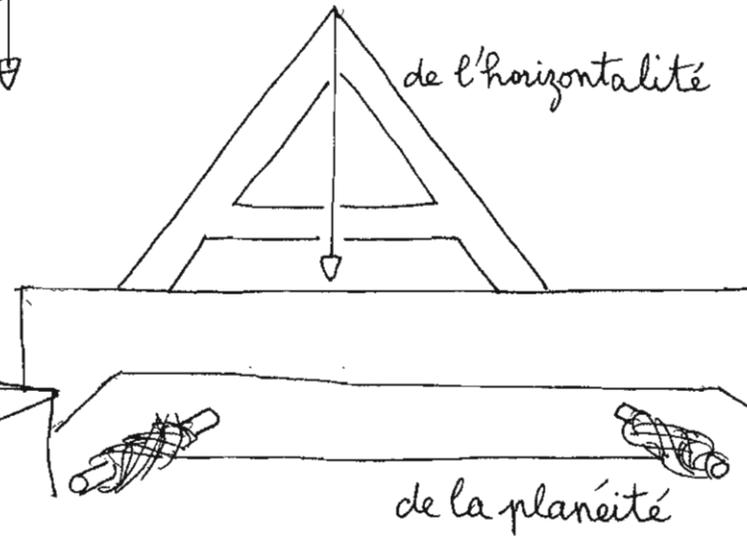
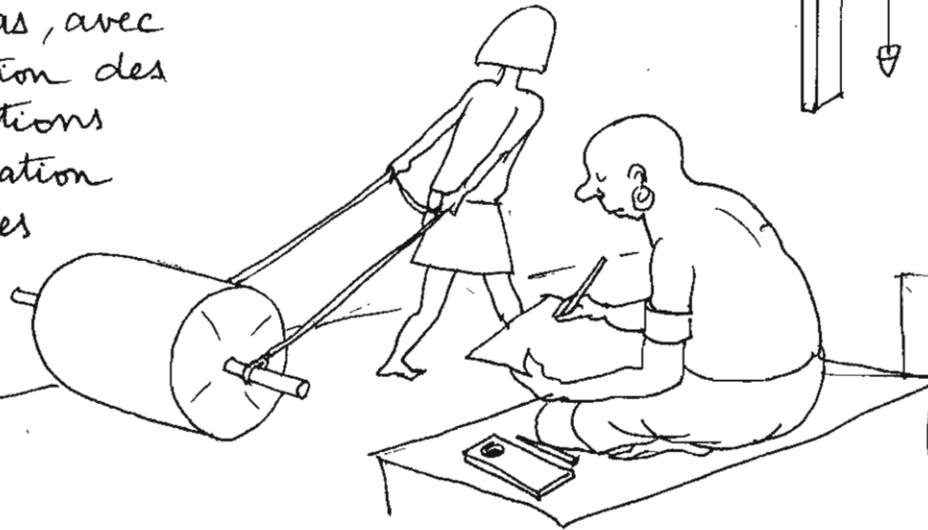
et pour vérification :



de la verticalité



le compas, avec adaptation des proportions et évaluation des angles

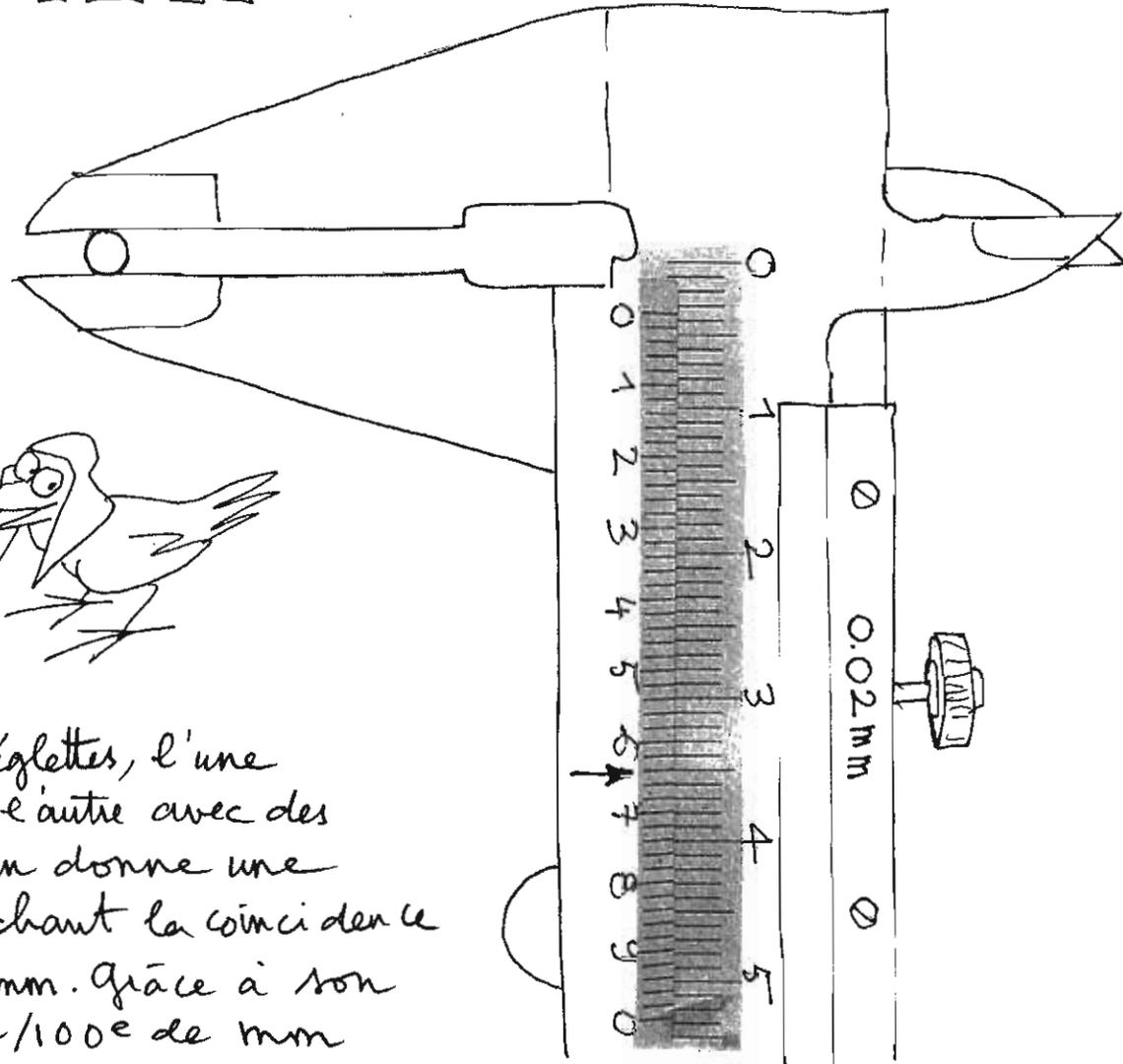


le rouleau, pour les distances, propre à faire apparaître le nombre π partout où on évaluera des rapports de longueurs

3000 ANS AVANT VERNIER (*)

Ceci est un **PIED À COULISSE**
instrument favori de ceux qui,
n'étant pas égyptologues
s'occupent d'**INGÉNIEURIE**

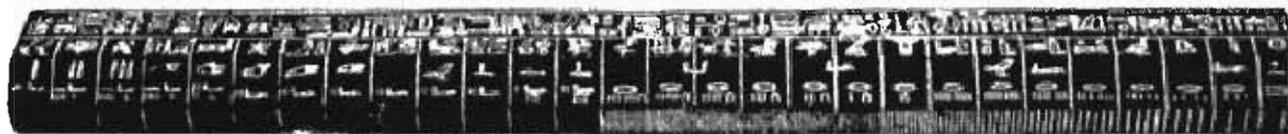
en un mot les **INGÉNIEURS**



Cet instrument met face à face deux réglettes, l'une avec des graduations d'un millimètre, l'autre avec des graduations de 0,9 mm. Le régllet numéro un donne une mesure de 3,6 mm (à l'œil). Mais, en cherchant la coïncidence entre les deux on lit (flèche noire) 3,64 mm. Grâce à son Vernier un pied à coulisse est précis au $2/100^e$ de mm

(*) Pierre Vernier, mathématicien, qui (ré)invente cet objet en 1631

LA COUDÉE ÉGYPTIENNE



coudée d'Amenhotep 11559-1539 LOUVRE

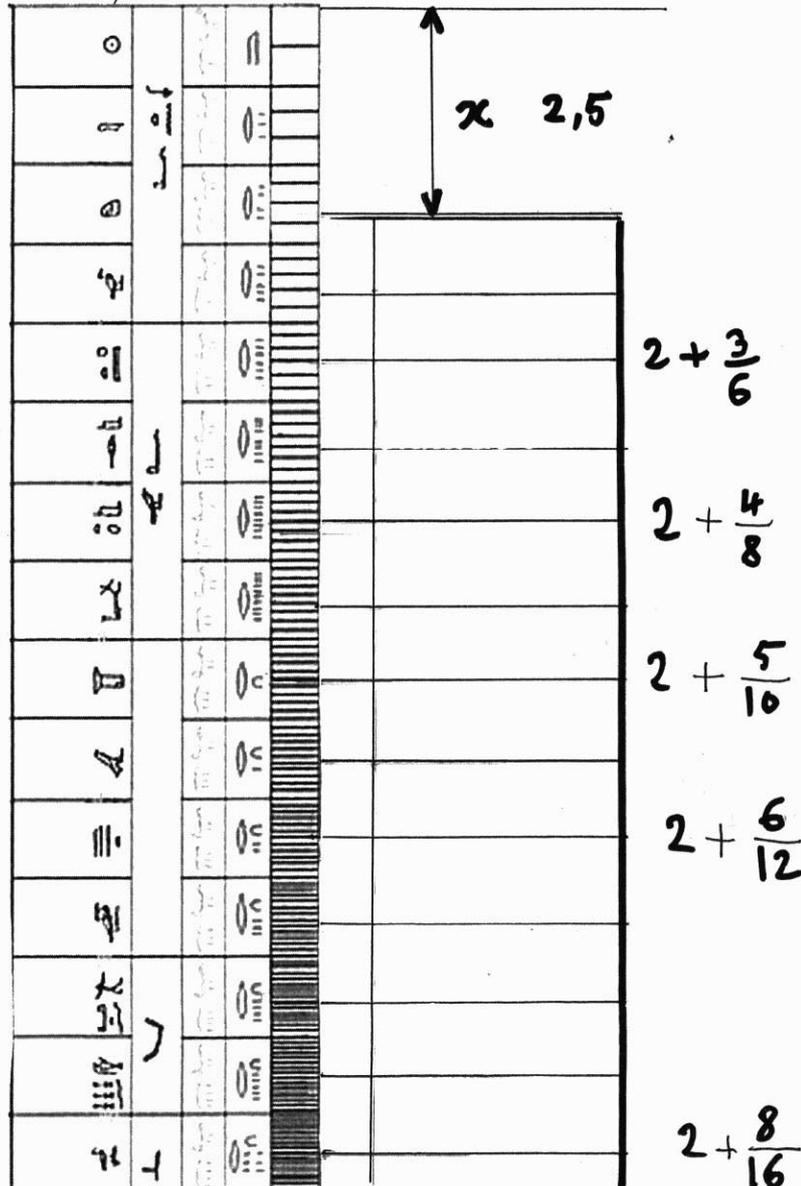
Il y est fait mention des subdivisions ci-après :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Doigt			Palme				Double palme				Petite griffe		Grande griffe		Djéser				Coudée rémén				Petite coudée				Coudée royale

Dans la partie droite ces subdivisions "doigt" sont elles-mêmes divisées par 2 : \Rightarrow , puis par trois Ξ par quatre ⊖ jusqu'à seize ⊖⊖ , le signe de "l'œil d'Horus" ⊖ étant traduit par "divisé par". Le symbole ⊖ étant le "dix" égyptien. Le caractère progressif de ces subdivisions, de même qu'elles ne figurent que sur la moitié de la coudée n'avait pas reçu d'explication à ce jour.

DONNONS LA CLÉ DU MYSTÈRE

une **MESURE**, dans l'Égypte pharaonique, se traduisait par la somme d'un nombre entier, plus le rapport de deux nombres entiers. que cela soit pour lire un plan ou consigner une donnée sur celui-ci les architectes égyptiens utilisaient non **UNE** coudée mais **DEUX**, en tournant la seconde de 180°:



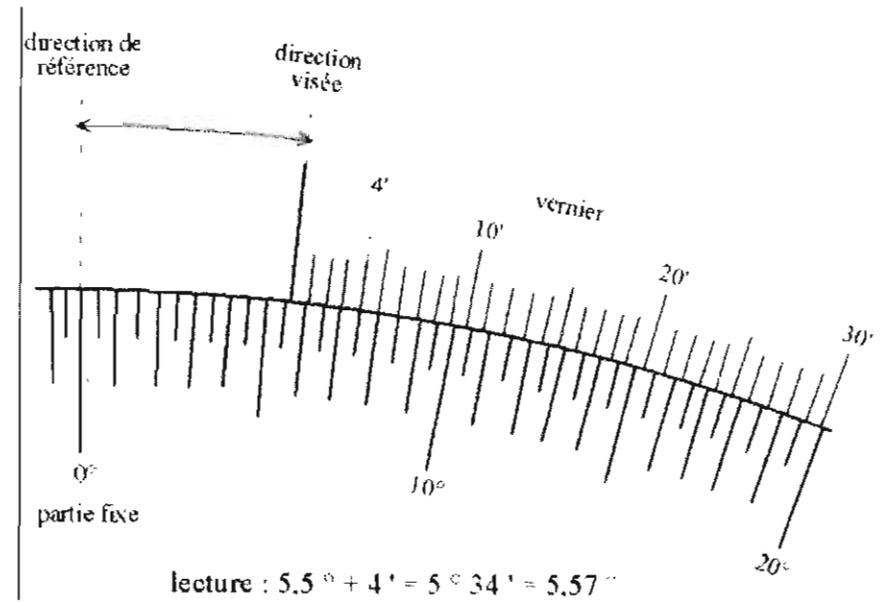
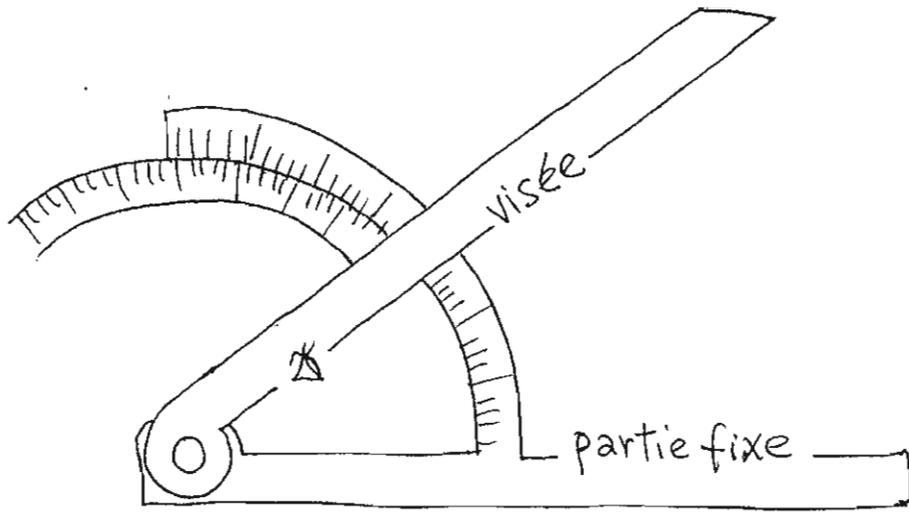
En décalant la seconde coudée (ici de 2.5 cm) si on recherche des coïncidences entre les graduations on trouvera les mesures ci-après, permettant au passage de voir que :

$$\frac{3}{6} = \frac{4}{8} = \frac{5}{10} = \frac{6}{12} = \frac{8}{16}$$

Ainsi la coudée Royale de l'Ancien Empire

possède-t-elle un système **MULTI-VERNIER** permettait de réaliser des mesures précises au seizième de doigt, soit 0,116 mm





un **GONIOMÈTRE**, appareil à mesurer les angles est un "pied à coulisse enroulé" doté d'un Vernier angulaire. Là encore on procède en recherchant une coïncidence entre deux réglés circulaires portant des graduations d'espacements différents le goniomètre permet d'opérer des relevements ou des visées à quelques centièmes de degrés près.

même si on n'a pas retrouvé de goniomètres à vernier égyptiens, étant donnée la précision attachée à leurs constructions, il est hautement probable qu'ils en disposaient dès 2600 av. JC



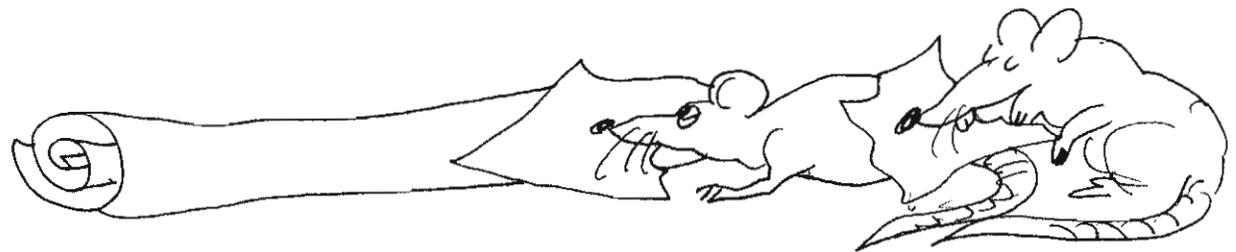
26 (4) le mathématicien Pedro Nunes en dota la marine portugaise (1502-1578) en dotant leurs **ASTROLABES** d'un "Vernier" (un siècle avant que ce dernier ne l'invente...)

Quand elle ne s'attache pas à reconstituer l'histoire des peuples des temps anciens l'archéologie tente de faire la lumière sur les sciences et les techniques de jadis. Elle concentre alors son attention sur les outils, les instruments de mesure et sur les objets et constructions de toutes tailles qui ont pu être réalisés avec ces éléments.

Elle dispose parfois de la description de tel ou tel *modus operandi*, sous la forme de dessins, de schémas, voire de textes écrits. Mais la découverte de ces derniers constitue un événement exceptionnel. Quand les peuples ignorent l'écriture ils n'existent simplement pas. Ainsi personne ne connaît les fantastiques recettes de ces métallurgistes chevronnés qui étaient les Gaulois. S'agissant de l'Égypte, l'imminence du temps écoulé ne facilite pas les choses. Où sont les centaines de milliers d'outils des bâtisseurs des pyramides? où sont leurs techniques? Où sont les calculs de leurs ingénieurs et architectes?

Tout, pratiquement, a été perdu, au fil de ces quarante siècles qui nous séparent de ces temps anciens. Faute de fils conducteurs nos spécialistes, de concertes face à l'énormité, à la monstruosité de ce que cette histoire donne à voir, forgent un paradigme, s'appuyant sur un consensus, peuplé d'*a priori* sur ce que tel peuple était censé ne pas connaître. Tout cela sur la base d'un schéma évolutif qui exclut toute récession, véritable culte au progrès. On entend ainsi des phrases comme "les anciens égyptiens ne connaissaient pas la chimie, ni la roue, ni la poulie. Ils ne pratiquaient pas la navigation hauturière. C'étaient de piètres mathématiciens, de piètres géomètres. Sinon ils se seraient arrangés pour nous consigner tout cela par écrit."

Bien sûr ...



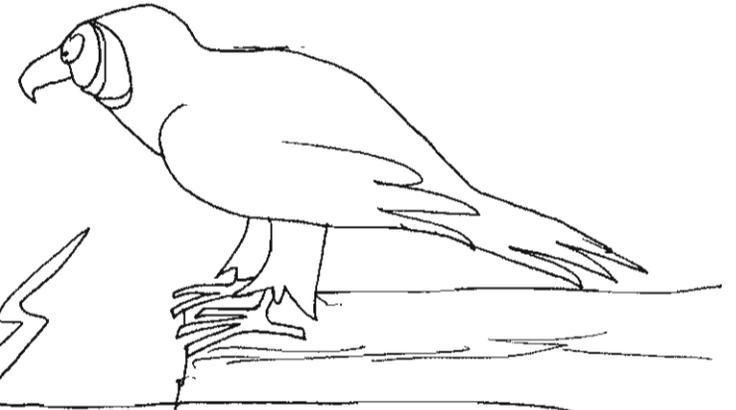
LES MOYENS DE TRANSPORT



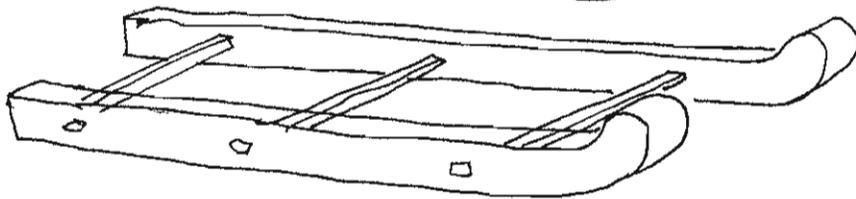
la **ROUE** ? mais qu'est-ce que vous faites de la charge au sol ?



le léger, c'est pas votre style



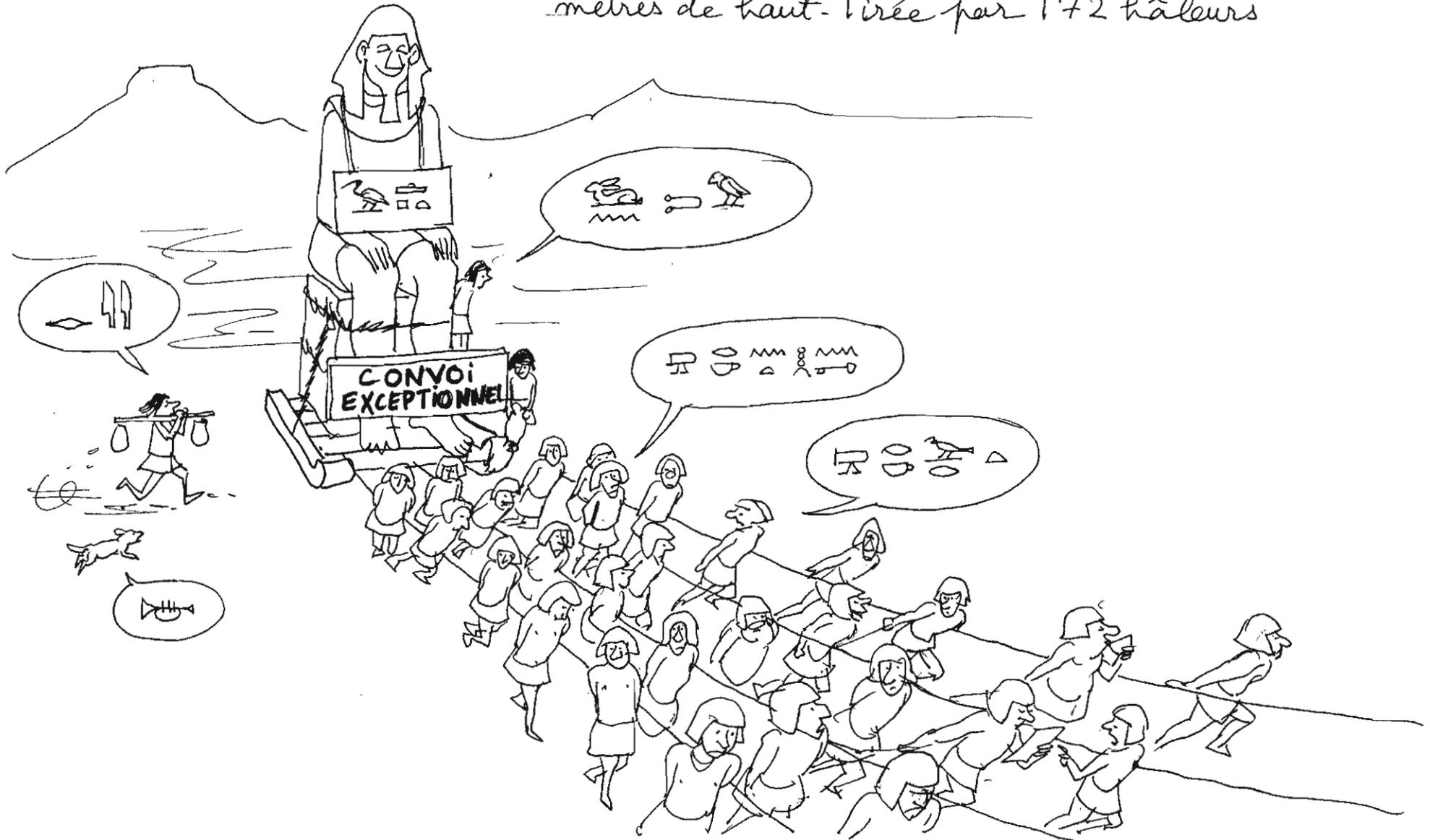
la solution c'est le glissement sur un bon lit de limon humide



là vous avez le standard :
2,5 tonnes et huit hommes

mais en cas de besoin
on a beaucoup plus gros

La statue de Djehutihotep (son nom sur la Pancarte)
simple gouverneur de province; Soixante tonnes, sept
mètres de haut. Tirée par 172 hâleurs



1200 tonnes, quarante mètres de long, 800 km:
il va falloir prévoir un acheminement fluvial



vas-y, tu peux
libérer l'obélisque

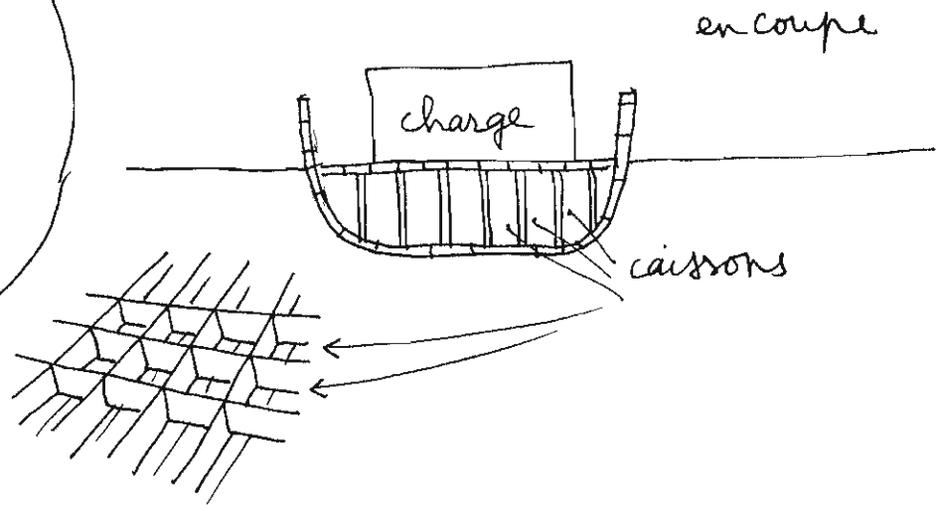
tenon en pierre

Pour ces transports hyper-lourds nous utilisons des barges spécialement conçues pour tel ou tel chargement. On dispose un fond en caissons, recouvert d'un plancher, pour mieux répartir la charge. La forme extérieure n'a pas besoin d'être hydrodynamique, la barge devant être halée le long d'un canal parallèle au Nil

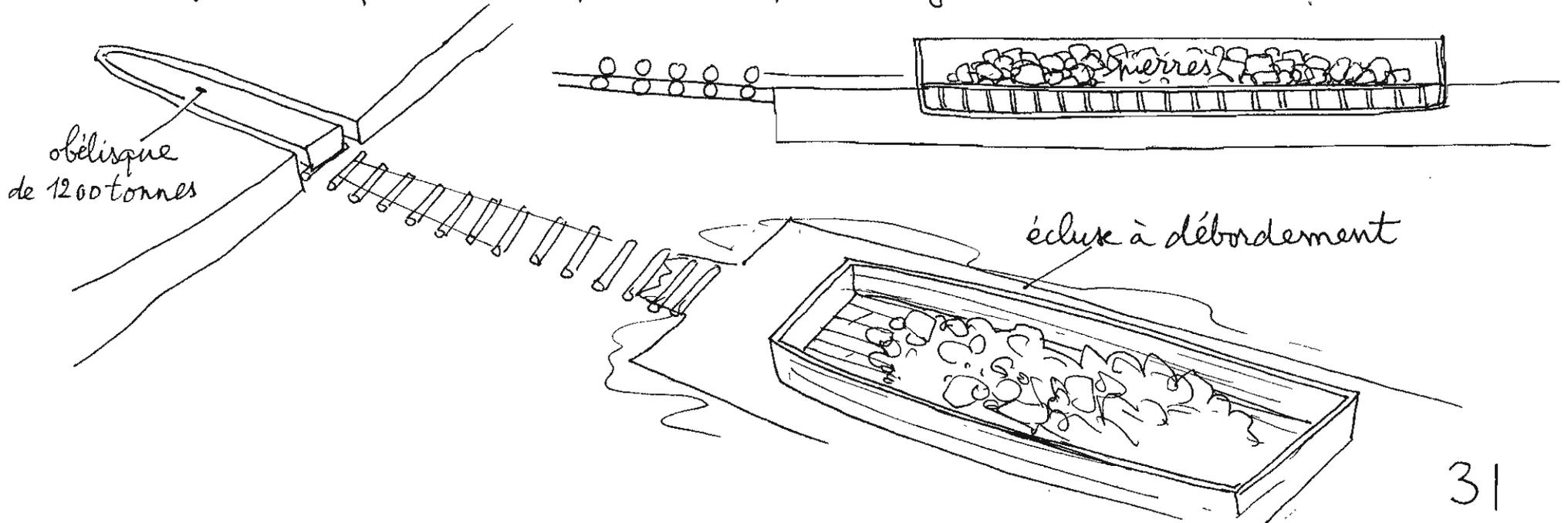
charge

(merci à Thierry Pierre pour ses remarques)

on dimensionne la barge de telle manière que quand elle portera sa charge le niveau du plancher de sa cale coïncide avec la ligne de flottaison

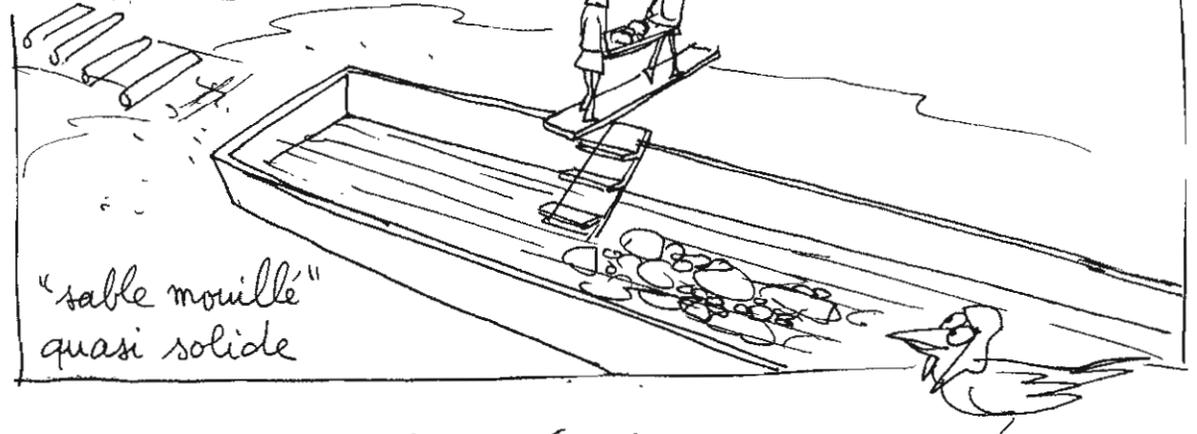
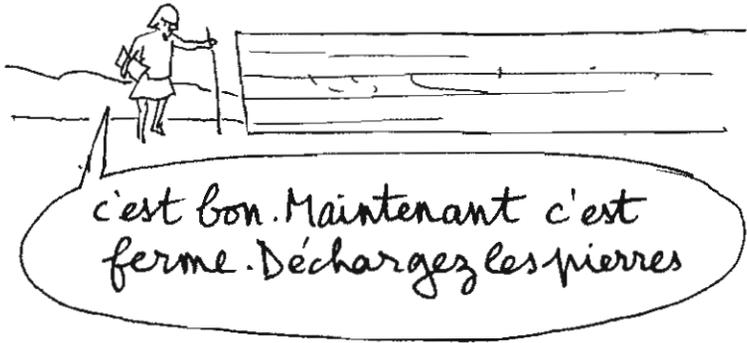


Puis on amène la barge dans une **ÉCLUSE À DÉBORDEMENT** après l'avoir chargée d'une quantité de pierres en poids égal.

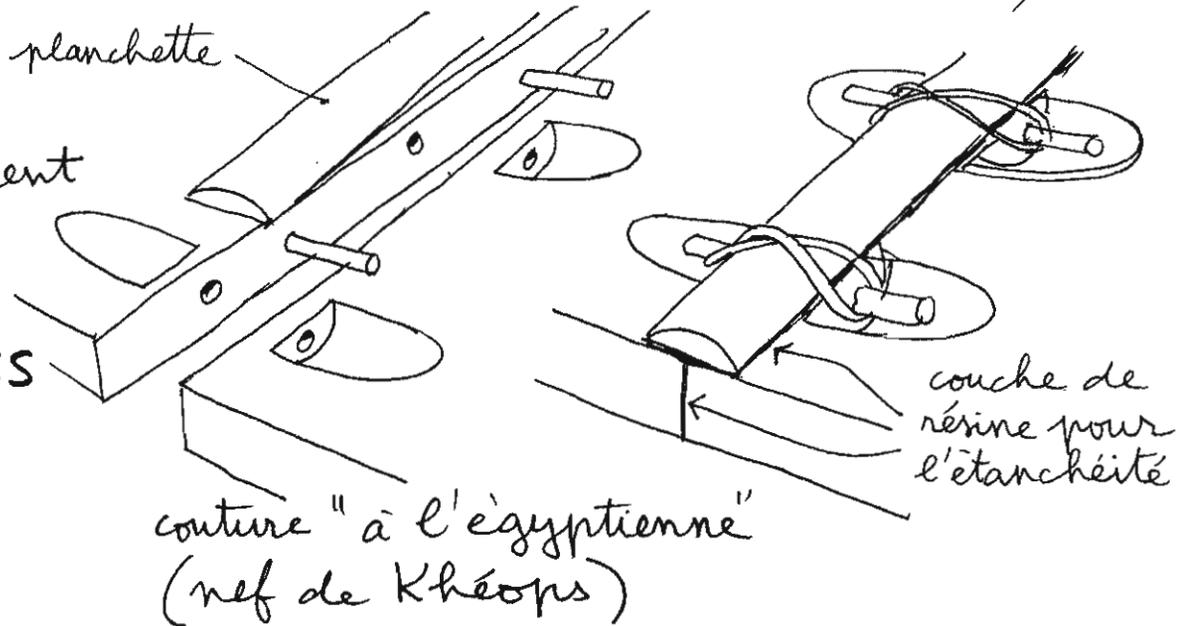


L'ECLUSE A SABLE

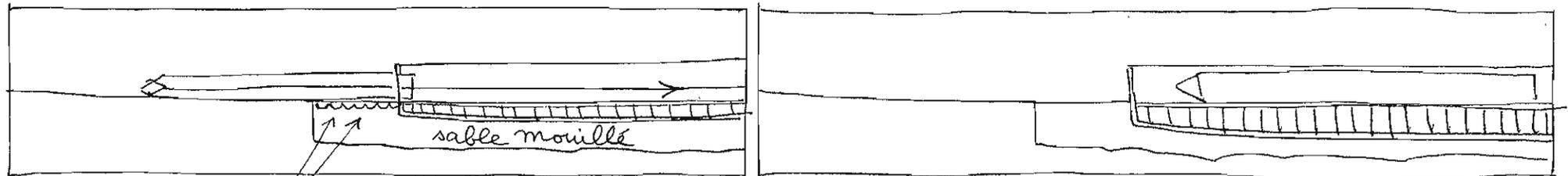
On sature l'eau de l'écluse de sable, jusqu'à ce que celui-ci perde toute fluidité, se comporte comme un solide



Tous les navires égyptiens avaient des coques faites de planches dont les éléments étaient liés par des cordes, ce qu'on appelle des **COQUES COUSUES**

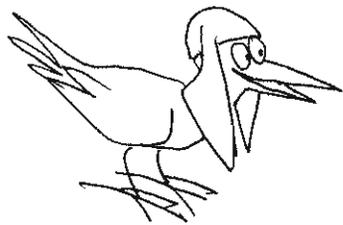
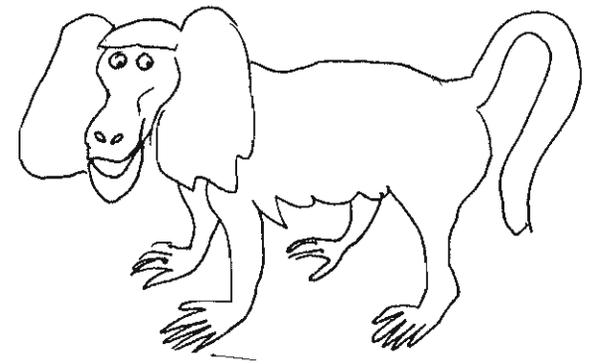


L'écluse à sable permettait le chargement de l'obélisque en la faisant rouler ou glisser sur un lit d'argile humide vers le plancher de la cale de la barge



troucs de palmier

il ne restait plus qu'à "recondre" l'avant de la barge, puis de remplacer le sable mouillé par de l'eau pour que la barge, ayant recouvré sa flotabilité, puisse emprunter le canal et être acheminée à destination

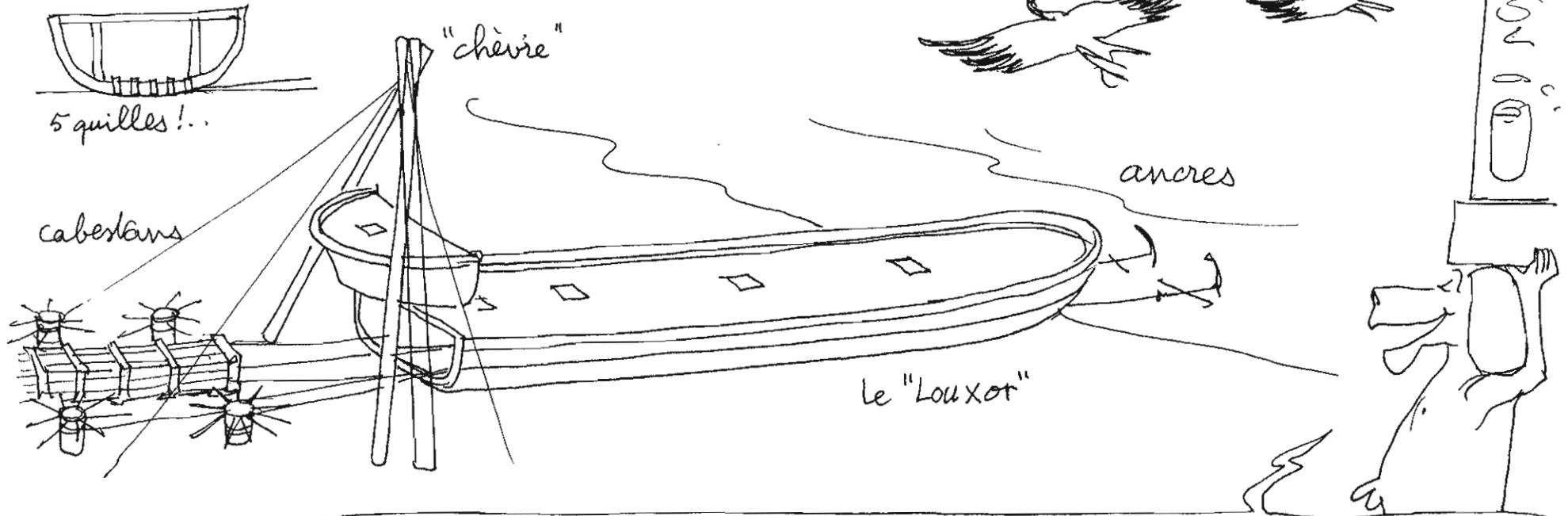


là-bas le déchargement est opéré en pratiquant les opérations inverses et en utilisant une seconde écluse à sable



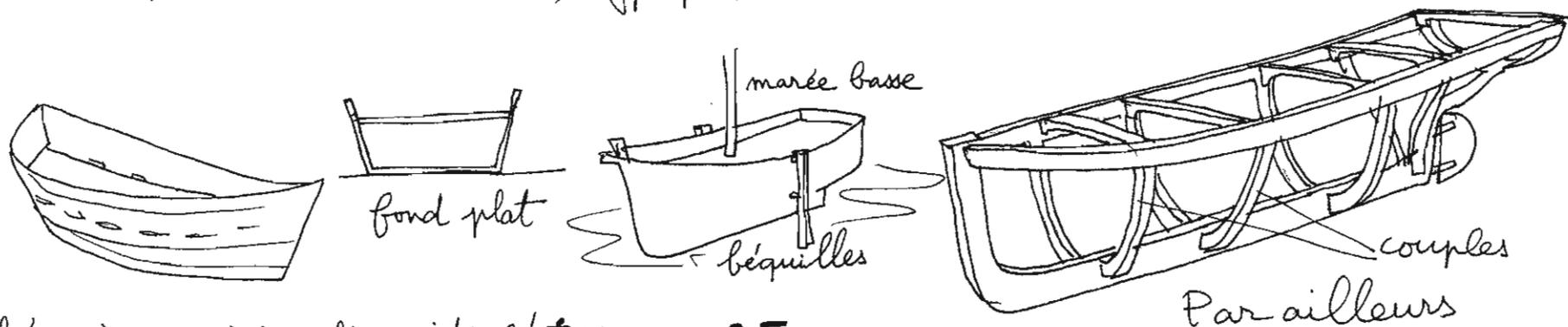
tout ceci étant grosse astuce et force magie

1830:
Deux mille ans plus tard



Les Français, pour le transport de l'obélisque de 23 mètres et de 230 tonnes, qui fut installée place de la Concorde utilisèrent un bateau à fond plat, spécialement conçu à cet effet (cinq quilles), dont l'avant était également amovible. Initialement cet obélisque reposait sur un socle flanqué de quatre fois quatre babouins, dressés sur leurs pattes arrière. Comme leurs sexes étaient apparents, un autre support fut sculpté, dans le même matériau que l'obélisque = du granite rose.

Des historiens de l'antiquité ont attesté de ce mode de chargement - déchargement des vaisseaux égyptiens. Par ailleurs cette technique des coques cousues permettait le transport d'unités complètement démontées, du Nil vers la Mer Rouge, où on retrouva en plusieurs unités stockées dans des grottes (*), ainsi que le stockage. Un navire de 43 mètres de long fut retrouvé en 1954, en pièces détachées numérotées, dans une fosse près de la pyramide de Kheops (**). Ceci excluait l'assemblage par chevilles. Cette technique, qui alliait économie de bois, légèreté et résistance fut abandonnée quand les navires durent gérer le phénomène des marées, typique des contrées du Nord.



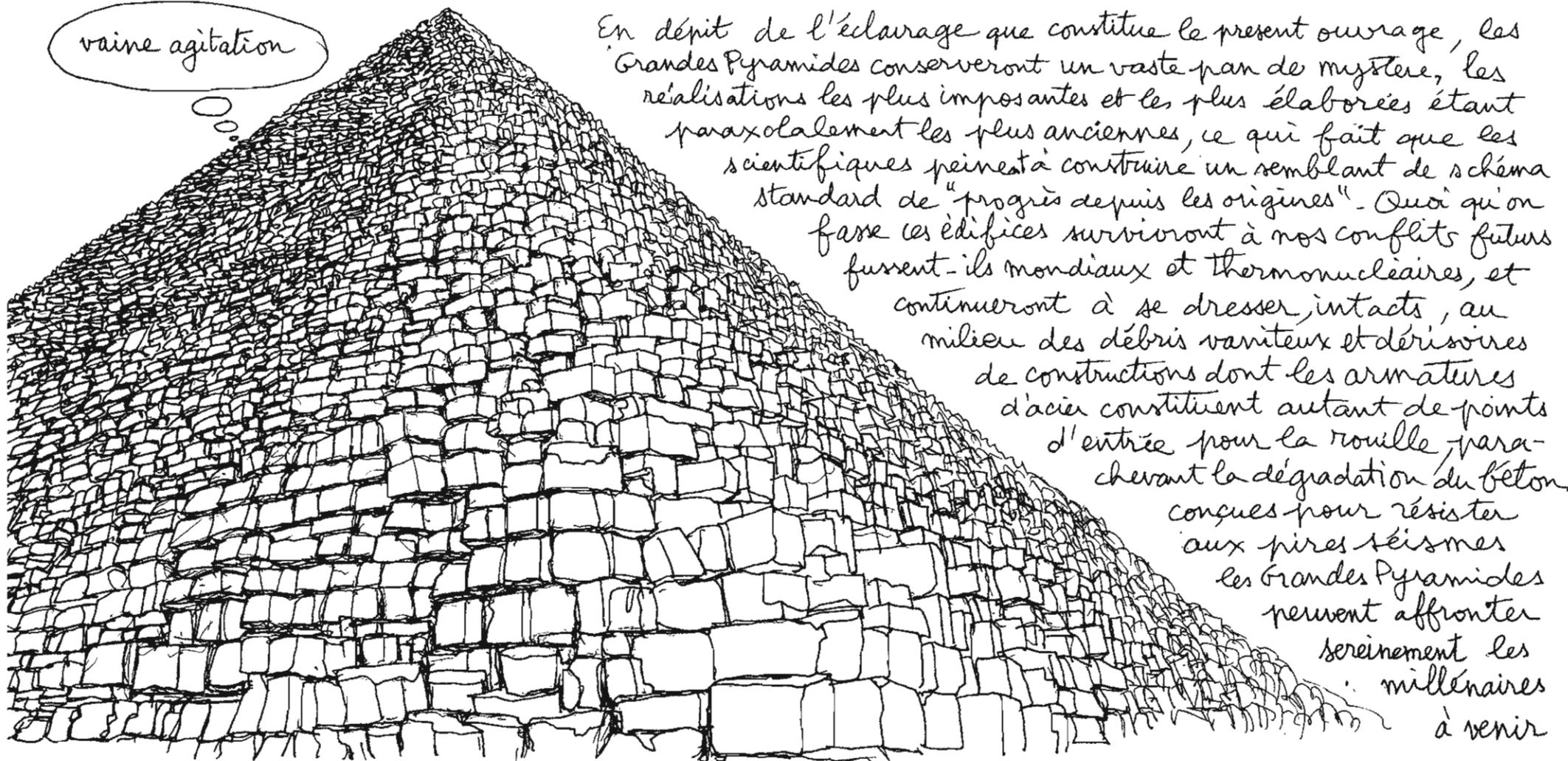
phénomène qui impliquait l'**ÉCHOUAGE**.

l'accès aisé à d'importantes ressources en bois de formes variées permettant l'abandon de la **COQUE A' REVÊTEMENT TRAVAILLANT** au profit d'un ensemble quille plus couples avec comme corollaire la possibilité de ménager de larges **ÉCOUTILLES** assurant le chargement - déchargement de la cargaison



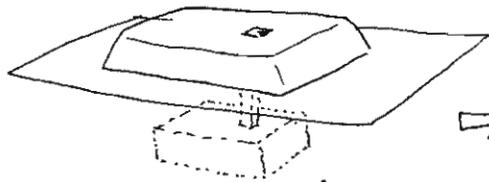
RAMPES ET MACHINES EN TOUS GENRES

vaine agitation

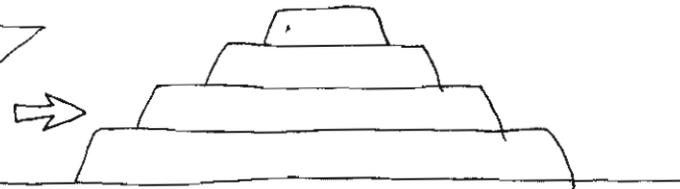


En dépit de l'éclairage que constitue le présent ouvrage, les Grandes Pyramides conserveront un vaste pan de mystère, les réalisations les plus imposantes et les plus élaborées étant paroxolalement les plus anciennes, ce qui fait que les scientifiques peinent à construire un semblant de schéma standard de "progrès depuis les origines". Quoi qu'on fasse ces édifices survivront à nos conflits futurs fussent-ils mondiaux et thermonucléaires, et continueront à se dresser, intacts, au milieu des débris vaniteux et dérisoires de constructions dont les armatures d'acier constituent autant de points d'entrée pour la rouille, paraissant la dégradation du béton conçues pour résister aux pires séismes les Grandes Pyramides peuvent affronter sereinement les millénaires à venir

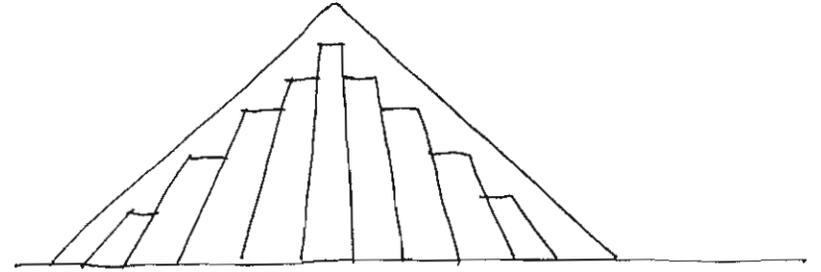
au plan de la structure interne on est face à deux courants d'idées. Si les pyramides sont l'extension des tombes que sont les **MASTABAS**, alors on peut les considérer comme des empilements de ceux-ci. A l'opposé Borchardt, en 1930, envisagea une juxtaposition de couches de pierres appuyées les unes sur les autres. Mais cela représentait pour la pyramide de Kheops un total de deux millions et demi de blocs.



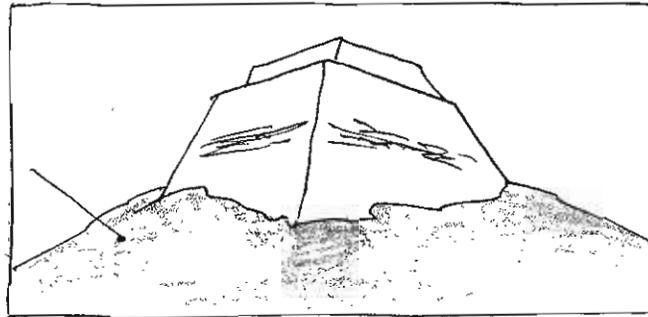
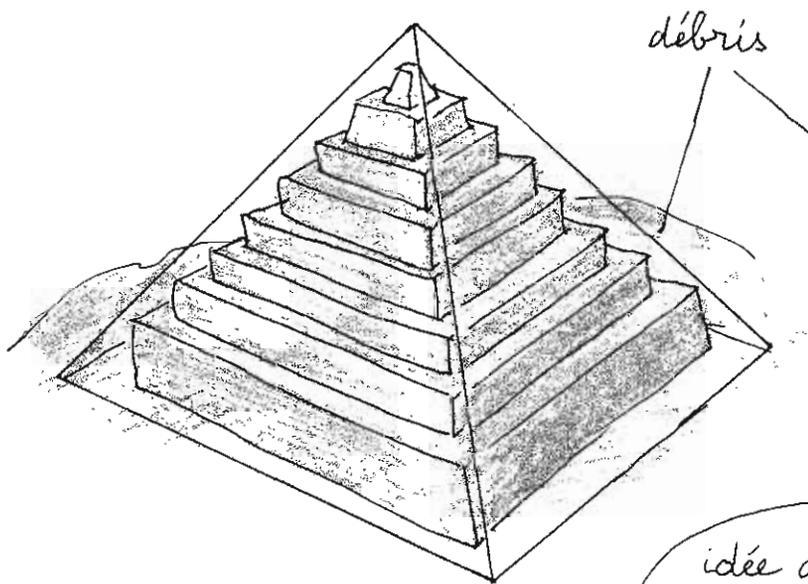
tombe - mastaba
souterraine



Sakkarah: interprétation classique



Modèle de Borchardt



idée confortée par les restes
de la pyramide de Meidoum



Face à la difficulté de reconstituer les techniques qui avaient permis de construire les pyramides on vit émerger des théories faisant appel à des aides extérieures



En France, depuis 1975 l'architecte **JEAN-PIERRE ADAM**, omni-présent sur toutes les scènes médiatiques, combat avec vigueur toute théorie qui n'émane pas du milieu égyptologique.



il faut en finir avec **L'ARCHÉOMANIE (*)**

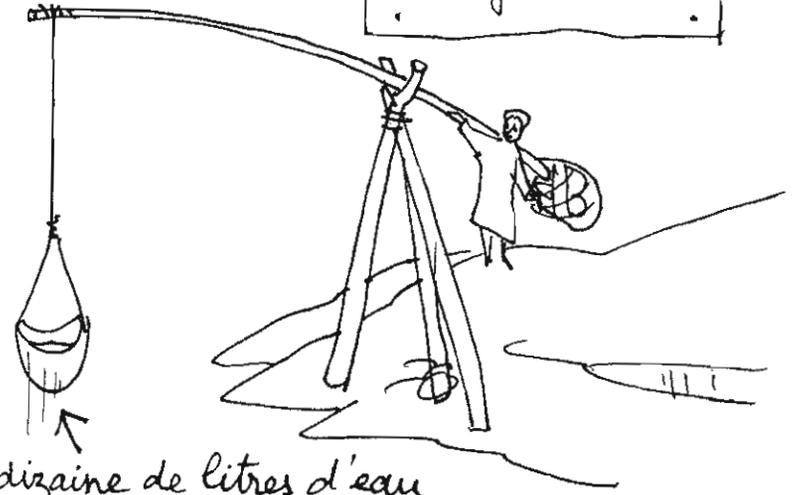


pour tenir des discours aussi incisifs il faut être en mesure d'opposer un modèle qui soit crédible. Or, c'est très loin d'être le cas...

38 (*) Directeur du Bureau d'Architecture Antique de Paris, de 1972 à 2003
Auteur de l'ouvrage "L'Archéologie devant l'imposture. Ed. Laffont 1975

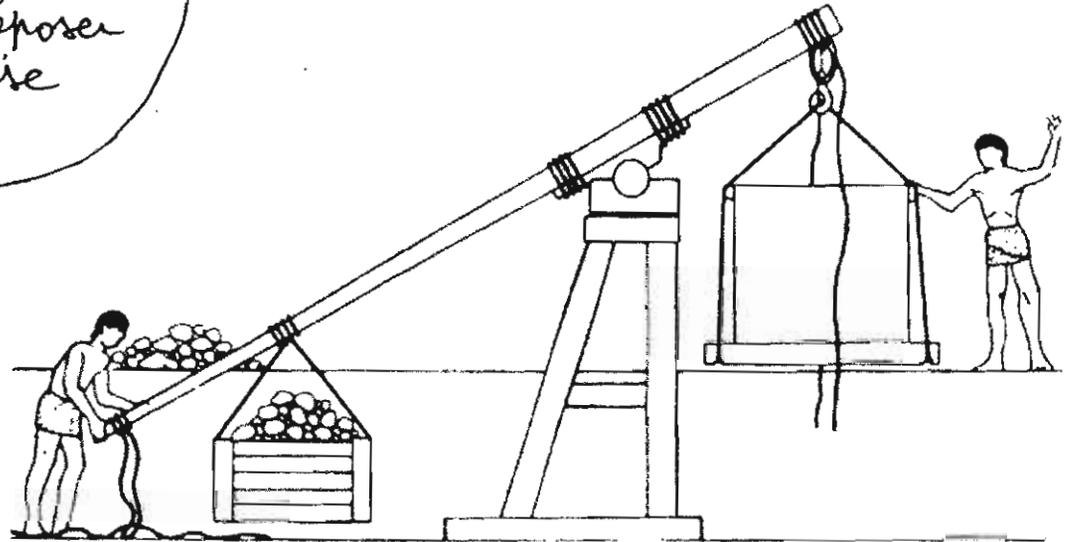
Il commence par adhérer au club des **MACHINISTES**, en proposant, pour élever les pierres, un système dérivé du **CHADOUF** oriental. Ce dessin, extrait de son livre (*), est physiquement absurde: le rapport des **BRAS DE LEVIER** étant de 1.6 pour soulever le "bloc standard" de 2500 kilos il faudrait que sa caisse contienne $2500/1.6 = 1562$ kilos, ce qui n'est visiblement pas le cas.

Le Chadouf
Algérien

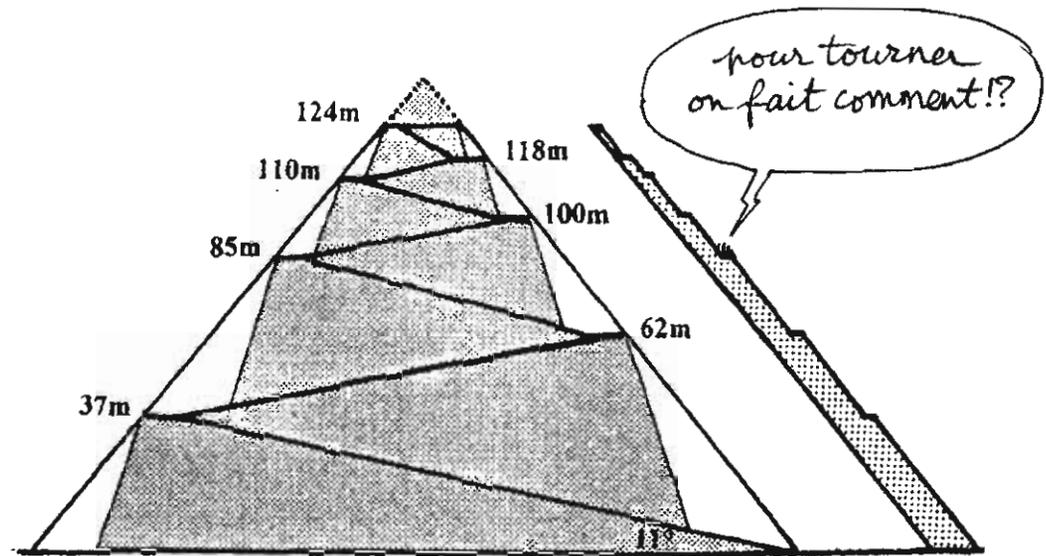


De plus, l'articulation ne permettant que des déplacements dans un plan vertical, on ne voit pas comment déposer la charge dans l'assise suivante...

peut être ceci correspond-t-il à la forme antique du levier ?

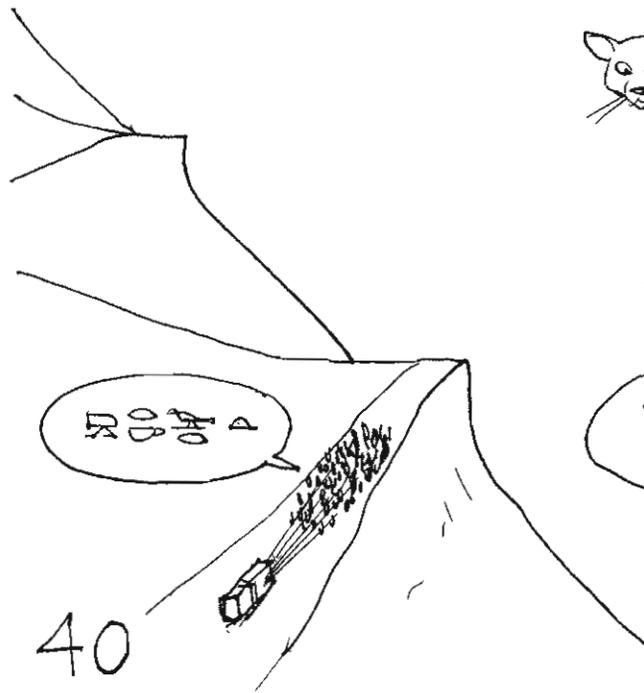
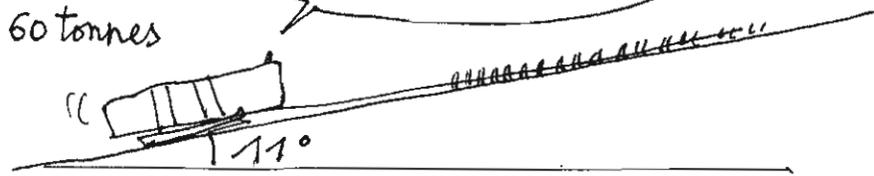


Tablant toujours sur son imagination et sur ce qu'il considère comme son **BON SENS**, Adam devient **RAMPISTE**. Il opte alors pour une **RAMPE ACCOLÉE**, sur une seule des faces, avec une **PENTE DE 11°**



La rampe accolée, adoptée par JP Adam

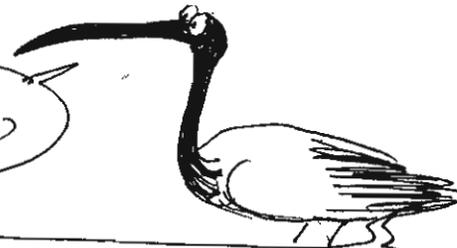
60 tonnes



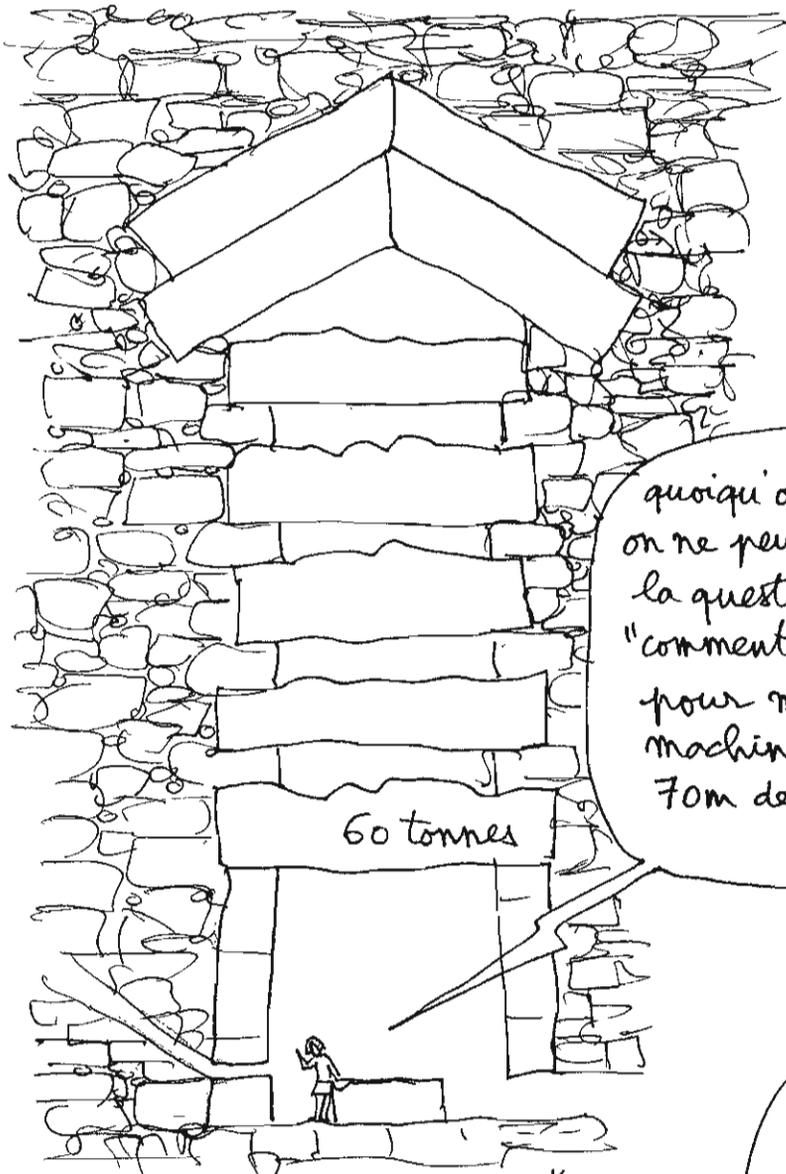
pour tirer 60 tonnes sur une pente de 11° il faut une force de 3 tonnes, soit 150 haleurs. Pour les déployer, la rampe doit faire au minimum 15 mètres de largeur

et dans les virages on fait comment ??

ce truc, ça s'accroche comment sur la paroi de la pyramide?



ouah!

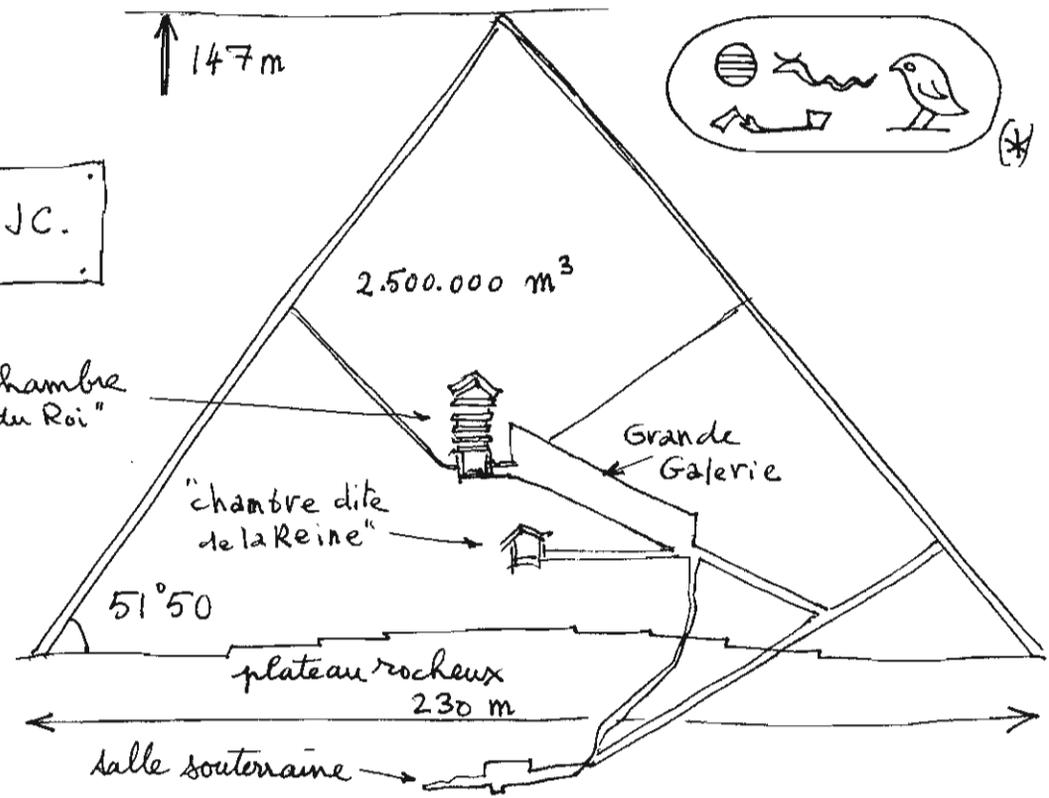


"chambre du Roi"
pyramide de Khéops

2560 Av. JC.

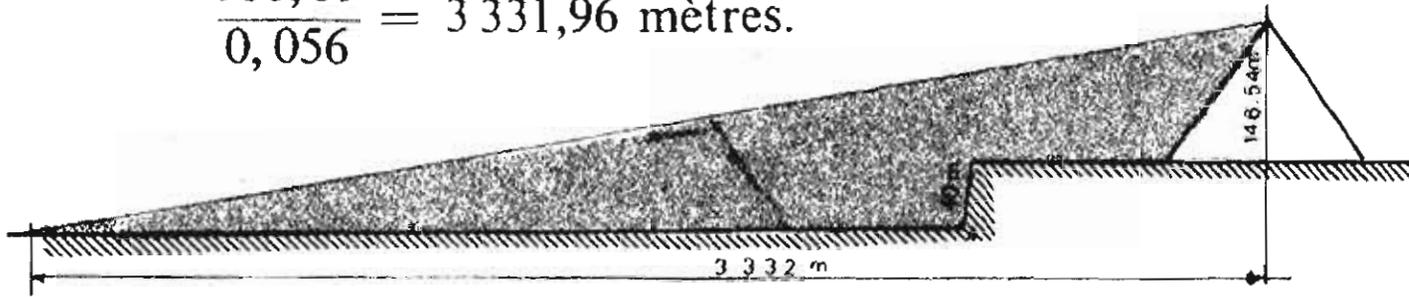
quoiqu'on fasse
on ne peut éluder
la question :
"comment faites-vous
pour monter ces
machins - là à
70m de hauteur ?

la première idée
avait été une rampe
linéaire en brique
cuite, armée de
poutres de bois

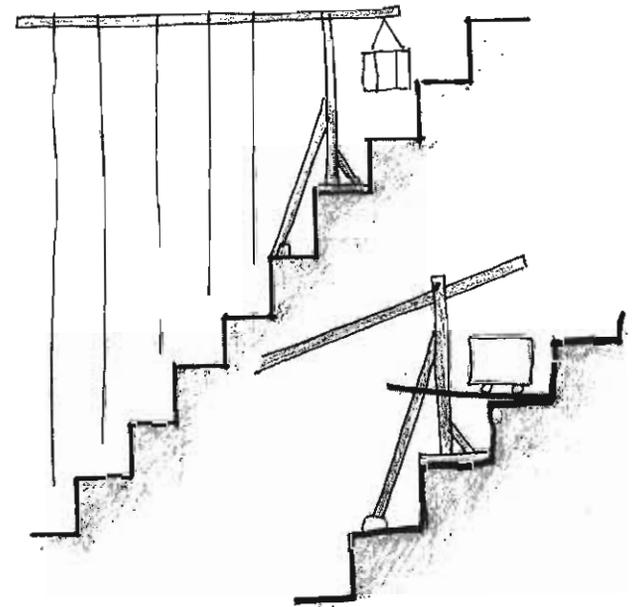
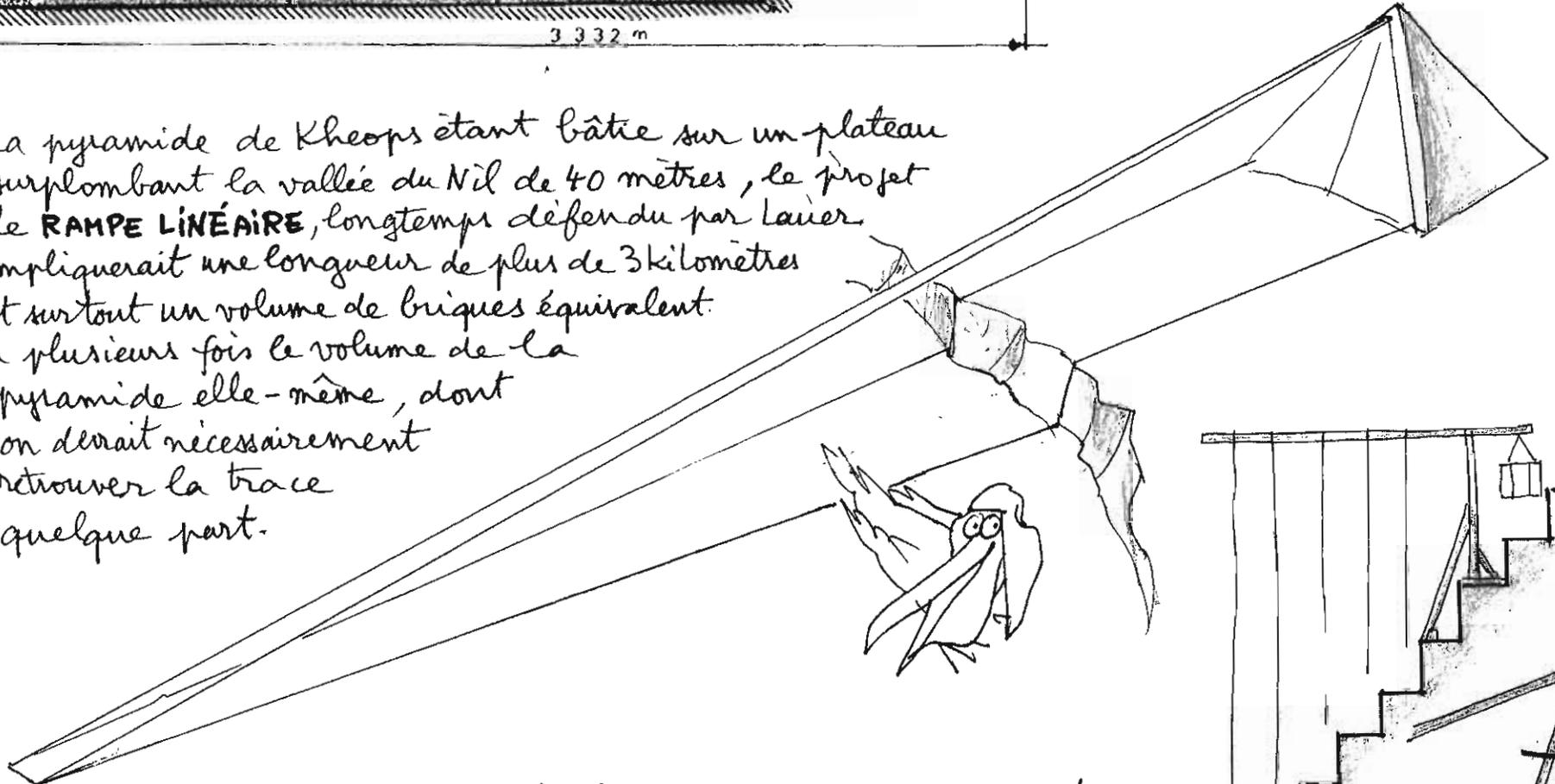


(*) prononcer "Khoufou" (Khéops) 4/

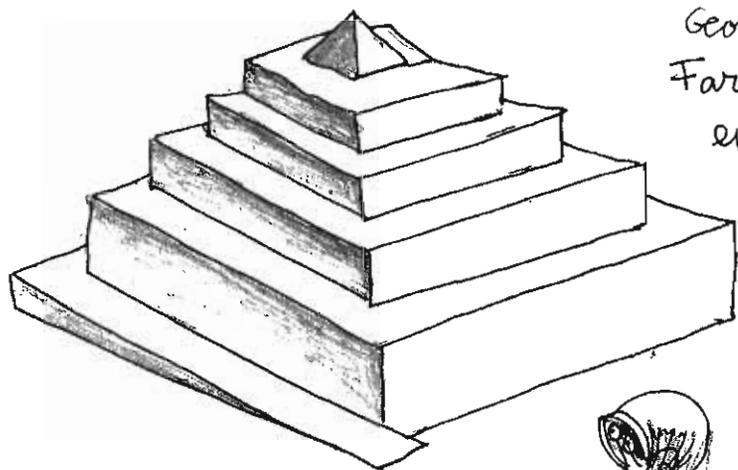
$$\frac{186,59}{0,056} = 3\,331,96 \text{ mètres.}$$



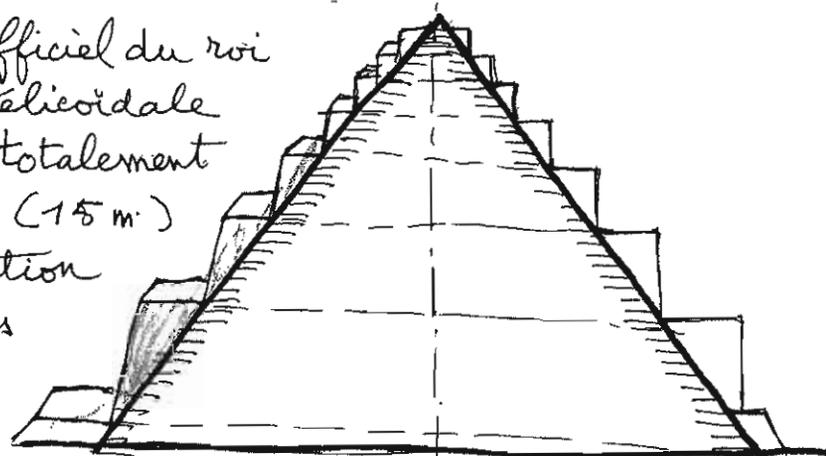
La pyramide de Kheops étant bâtie sur un plateau surplombant la vallée du Nil de 40 mètres, le projet de **RAMPE LINÉAIRE**, longtemps défendu par Lauer, impliquerait une longueur de plus de 3 kilomètres et surtout un volume de briques équivalent à plusieurs fois le volume de la pyramide elle-même, dont on devrait nécessairement retrouver la trace quelque part.



à part cela les **MACHINISTES** proposent de passer à un multi-chadouf dont la poutre travaille toujours en **FLEXION**

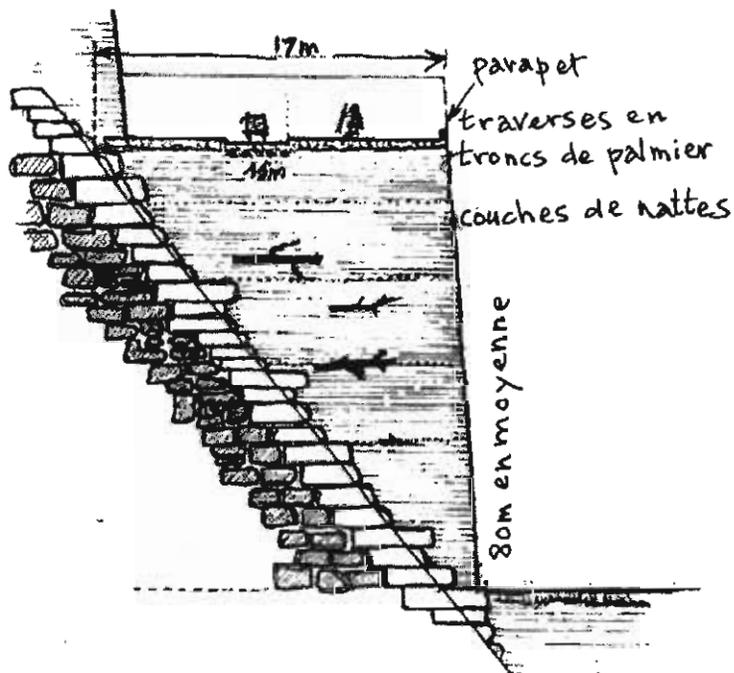


Georges Goyon, égyptologue officiel du roi Farouk, propose une rampe hélicoïdale en brique crue, enveloppant totalement la pyramide, assez large (15 m) pour permettre l'évolution de deux cent hâleurs



Mais la tenue mécanique de cette rampe, accrochée à des bossages, est jugée problématique

autre inconvénient : on perd tout contact avec la surface de la pyramide



Georges Goyon, CNRS
1905 - 1996

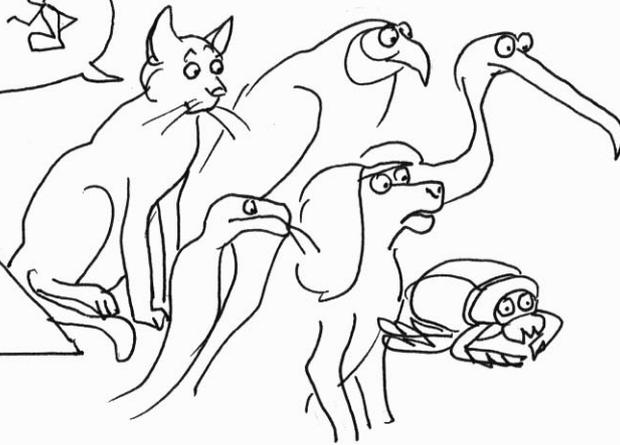
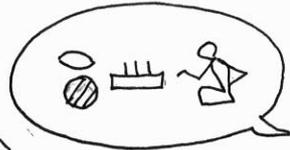
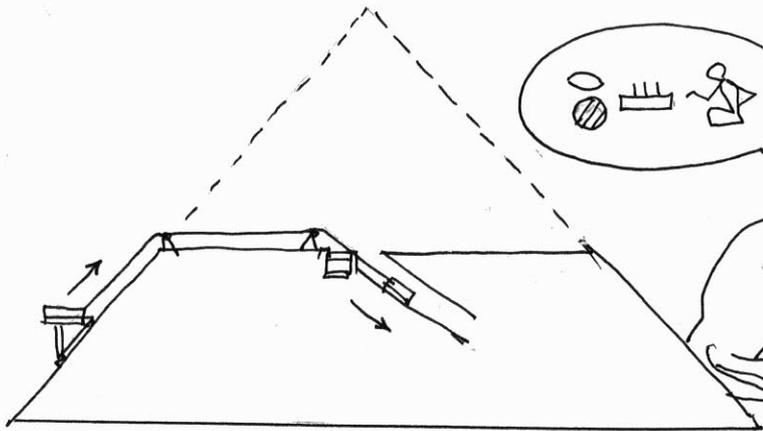
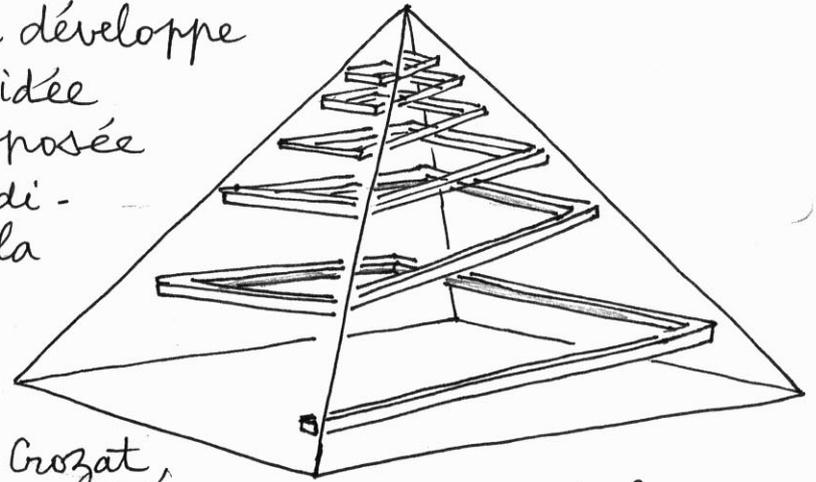
l'érection de la pyramide implique à tout instant un repérage centimétrique de ses composants, ce qui impose un acier à son axe, matérialisé par un fil à plomb disposé dans un puits central

(* | le secret des bâtisseurs des Grandes Pyramides, Réédité en 1997. Editions Pygmalion

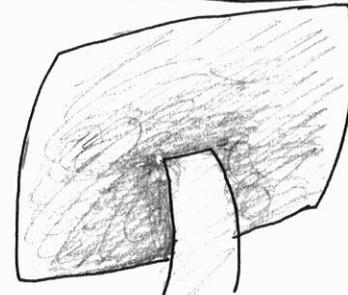


En 2006 l'architecte Jean Pierre Houdin développe à grand renfort d'images de synthèse l'idée d'une rampe interne, initialement proposée par l'ingénieur italien Elio Domedi.

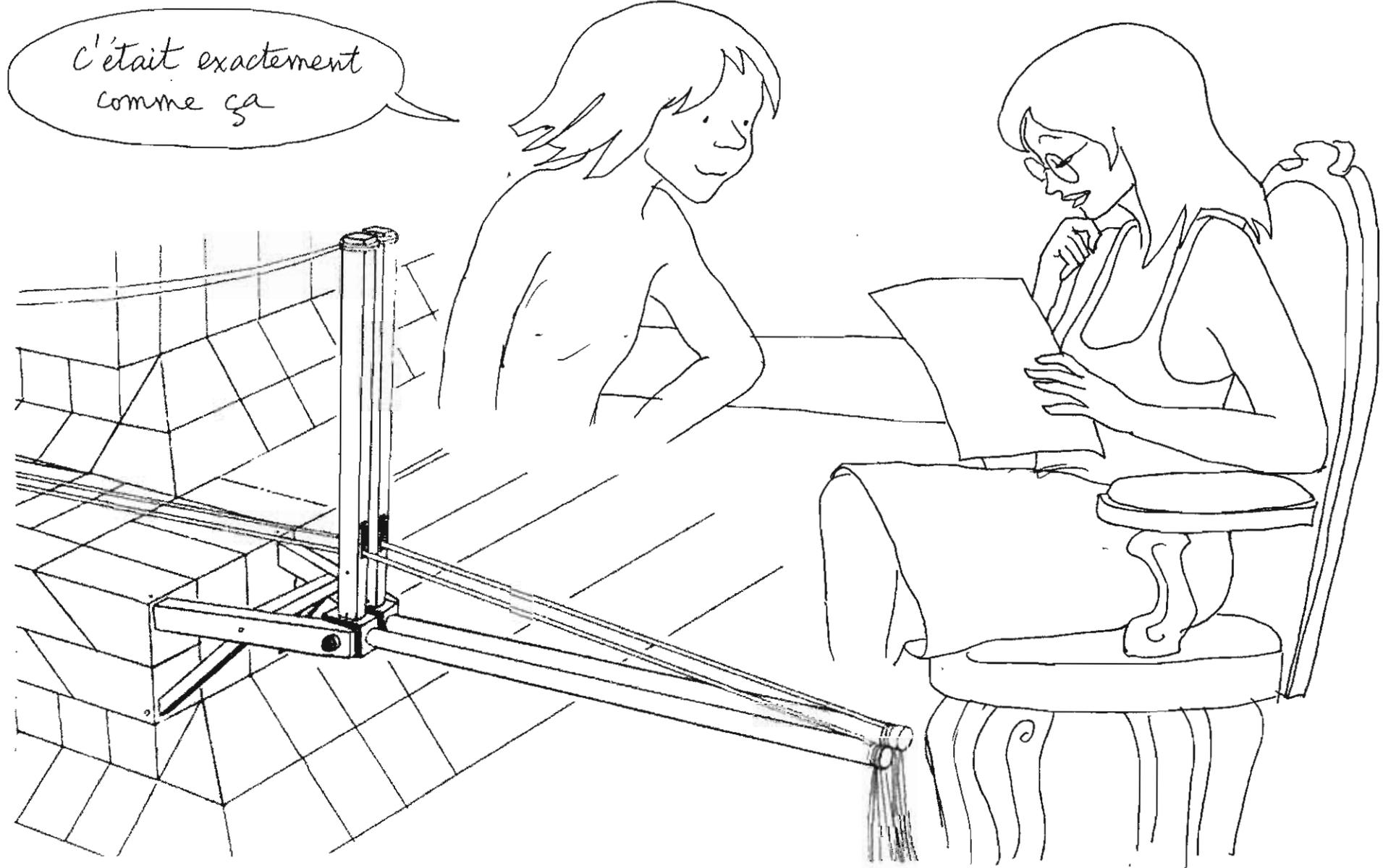
Pour assurer la montée des gros blocs, reprenant l'idée de Pierre Crozat, Houdin utilise un contrepoids glissant le long de la Grande Galerie, dont l'inclinaison est de cinquante degrés. Ainsi un chariot élévateur, aidé par un contrepoids se déplaçant en contrebas aurait permis à cet ancêtre du funiculaire de fonctionner.



si non e vero
esta bella



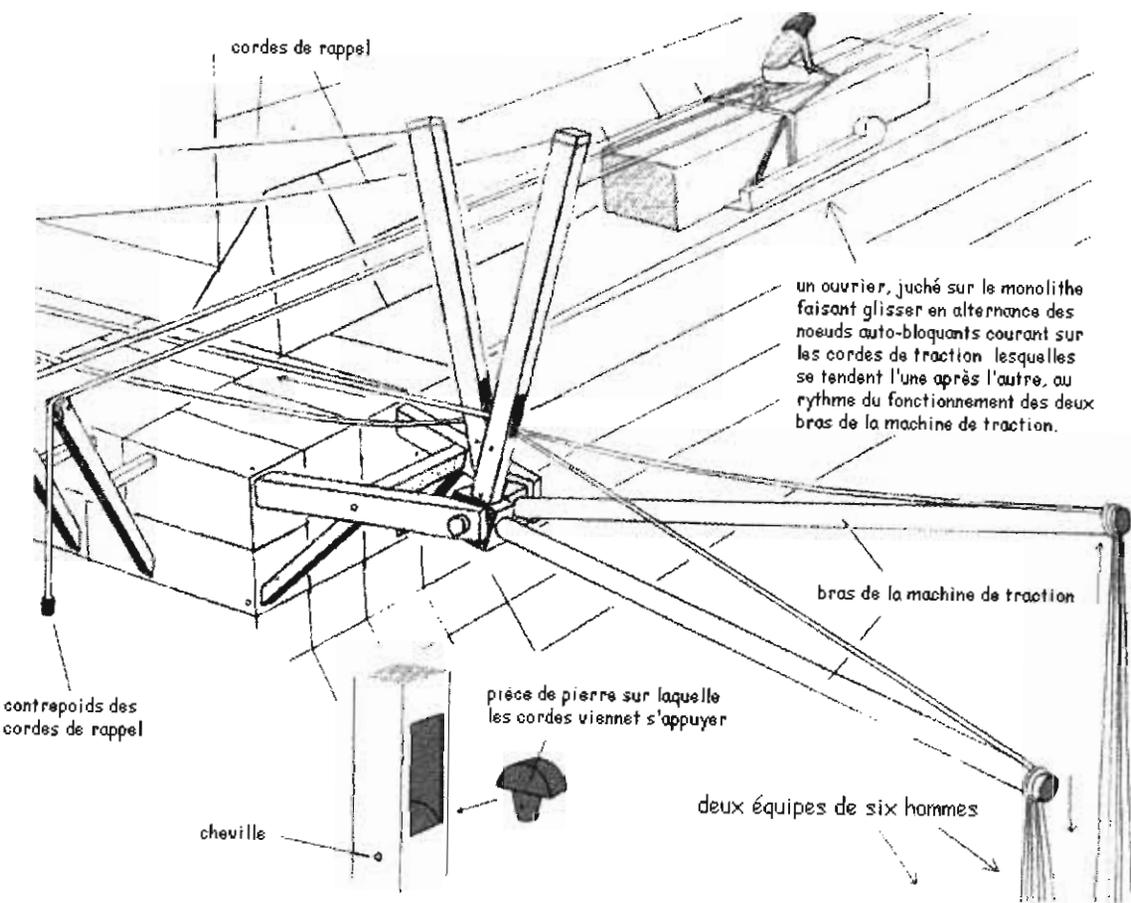
LA VISION D'ANSELME(*)



(*) Pour voir ce qu'Anselme a vu dans son rêve http://www.jp-petit.org/VIDEOS/pyramide_montage.mov

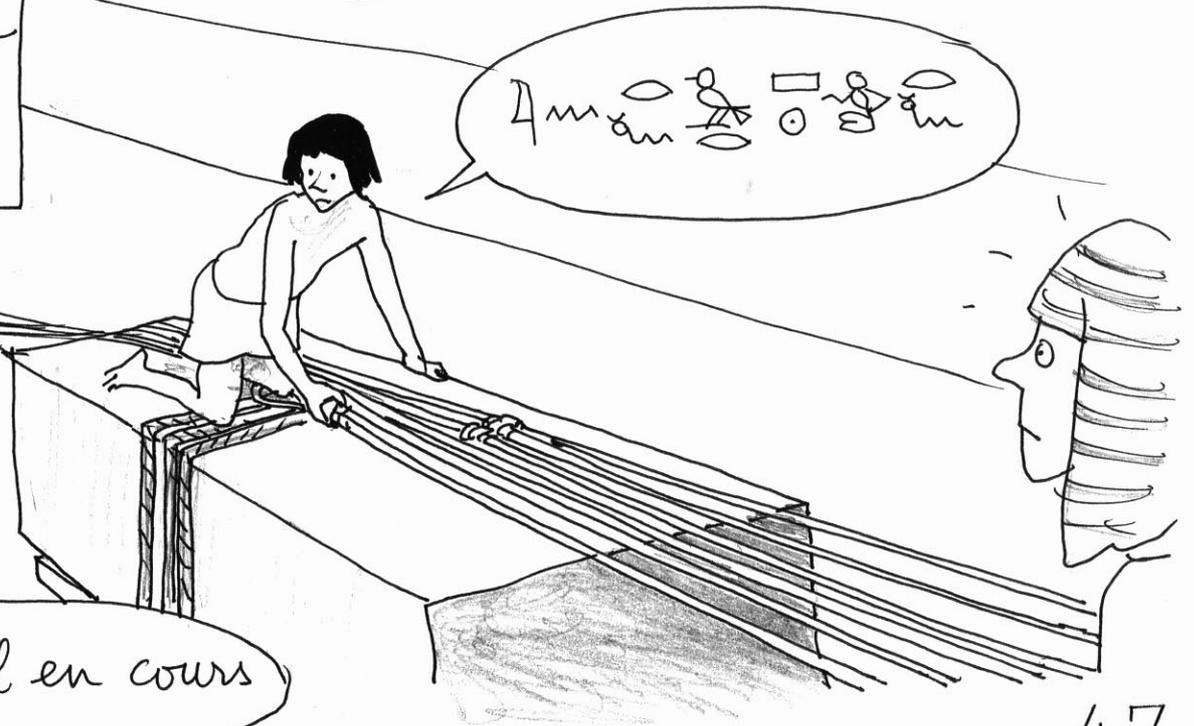
je voyais les deux bras monter et descendre

et qu'est-ce qui les faisait bouger ?

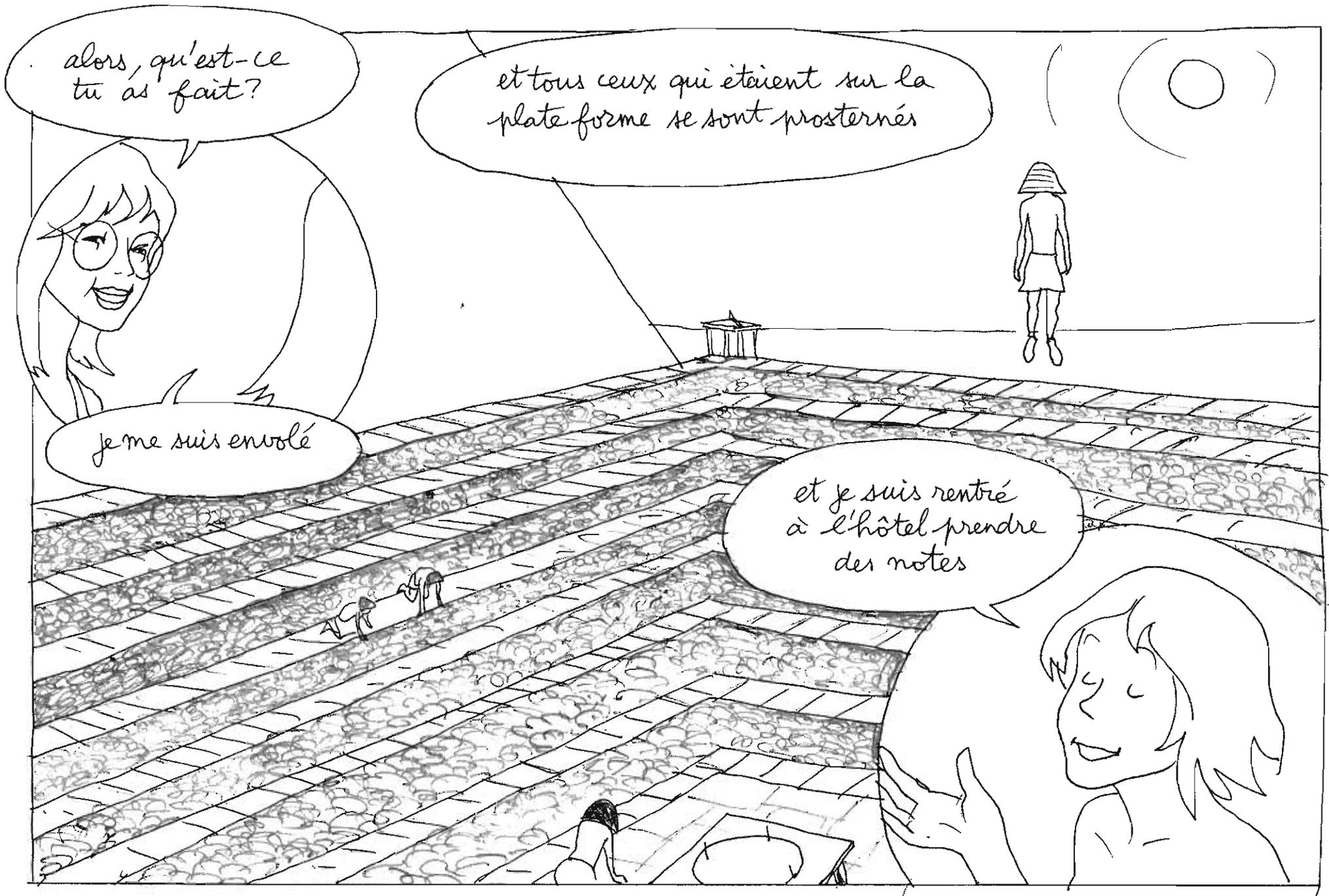


je suis monté sur la rampe pour aller voir et c'est là que j'ai eu des ennuis avec le type au crânerasé, portant une peau de panthère



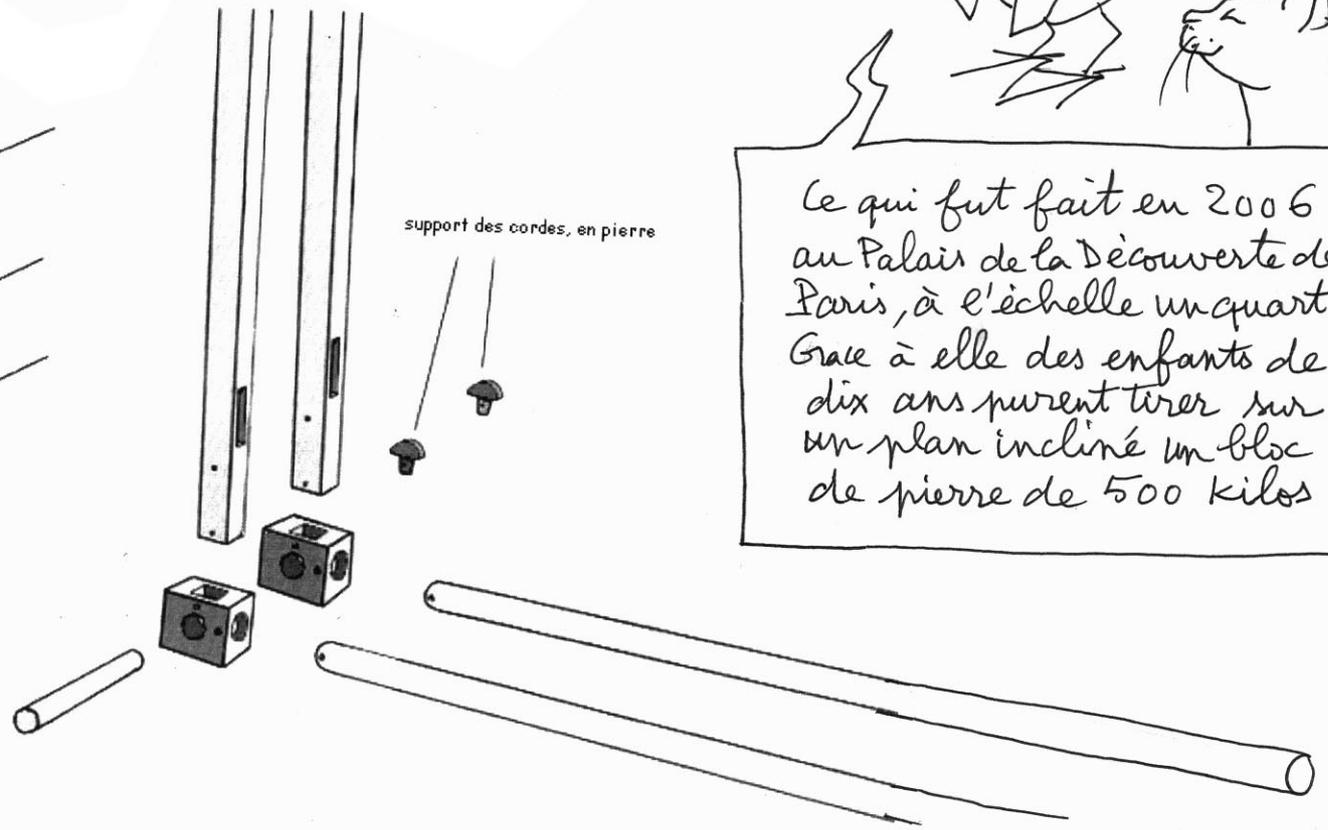
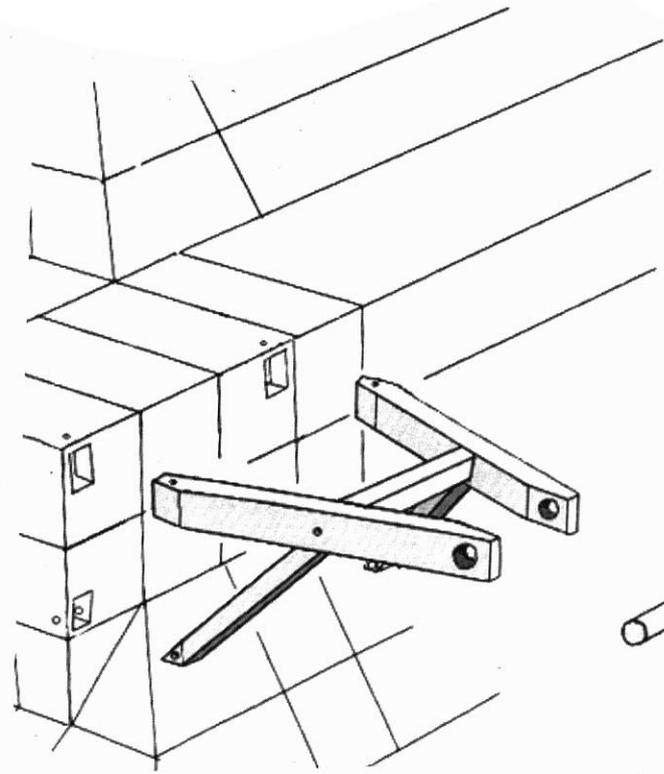
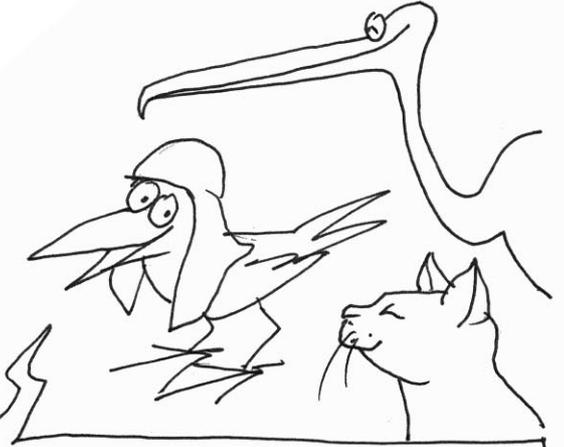


j'avais interrompu le travail en cours



et cette machine, tu saurais
la décrire complètement ?

et même la reconstruire ?



Ce qui fut fait en 2006
au Palais de la Découverte de
Paris, à l'échelle un quart.
Grâce à elle des enfants de
dix ans purent tirer sur
un plan incliné un bloc
de pierre de 500 kilos

Dans ta machine, ce montage amplifie beaucoup la force de traction mais par voie de conséquence quand les barres s'abaissent le mouvement de la charge n'exède pas vingt centimètres. Il faut à chaque fois tout remettre en place pour bénéficier d'une nouvelle traction, non ?

c'est une application moderne du levier (*)

comme le casse-noix...

tu oublies qu'il y a **DEUX** machines qui travaillent en alternance

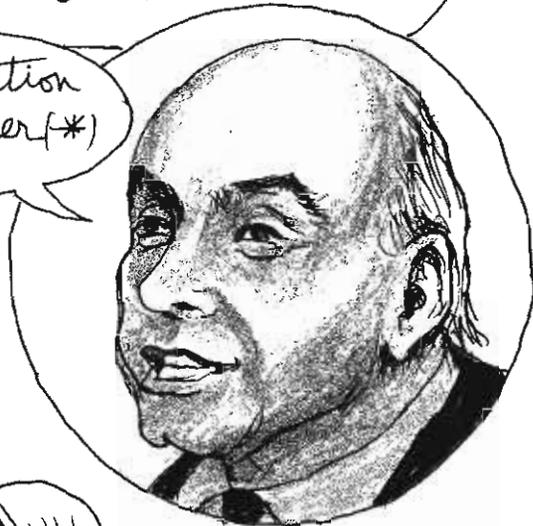
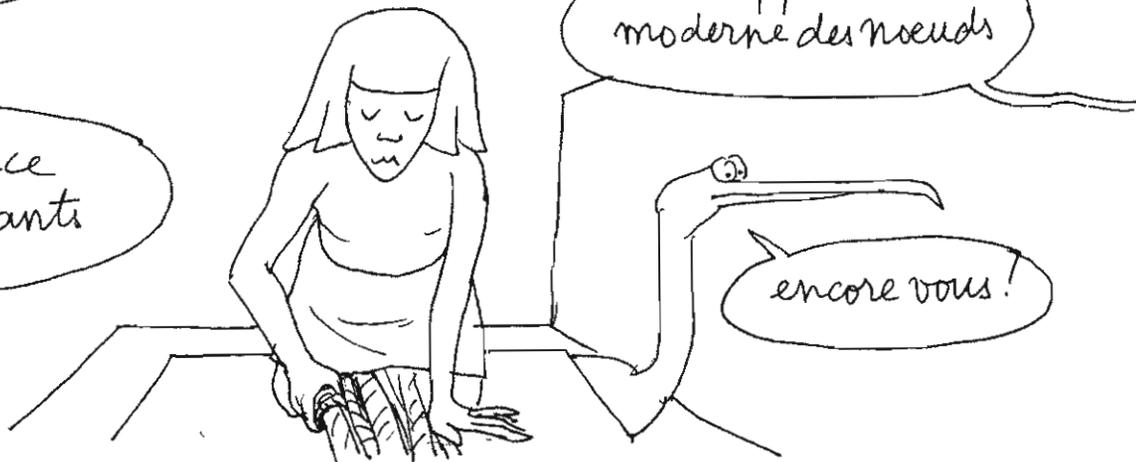
un gosse, juché sur le bloc, déplace un ensemble de nœuds auto-bloquants

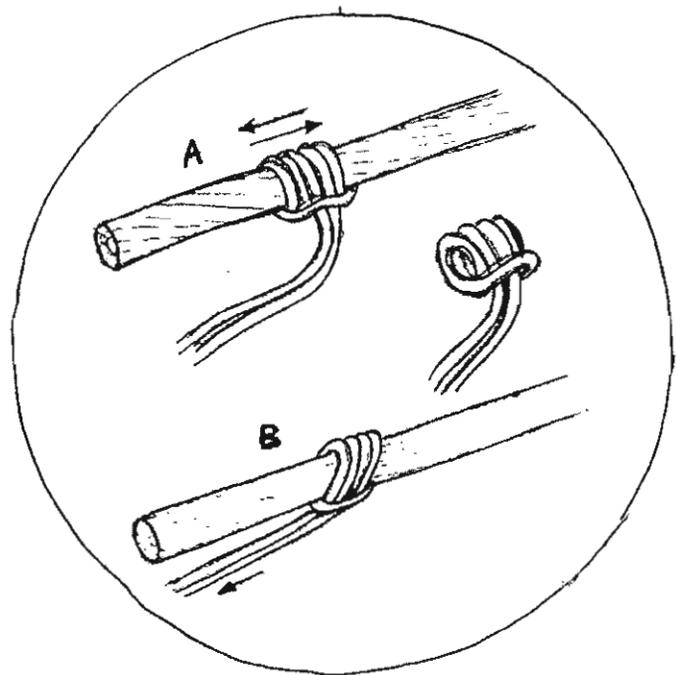
une application moderne des nœuds

encore vous !

50

(*) Authentique





vous pouvez essayer avec
un balai et une ficelle.
ça marche très bien

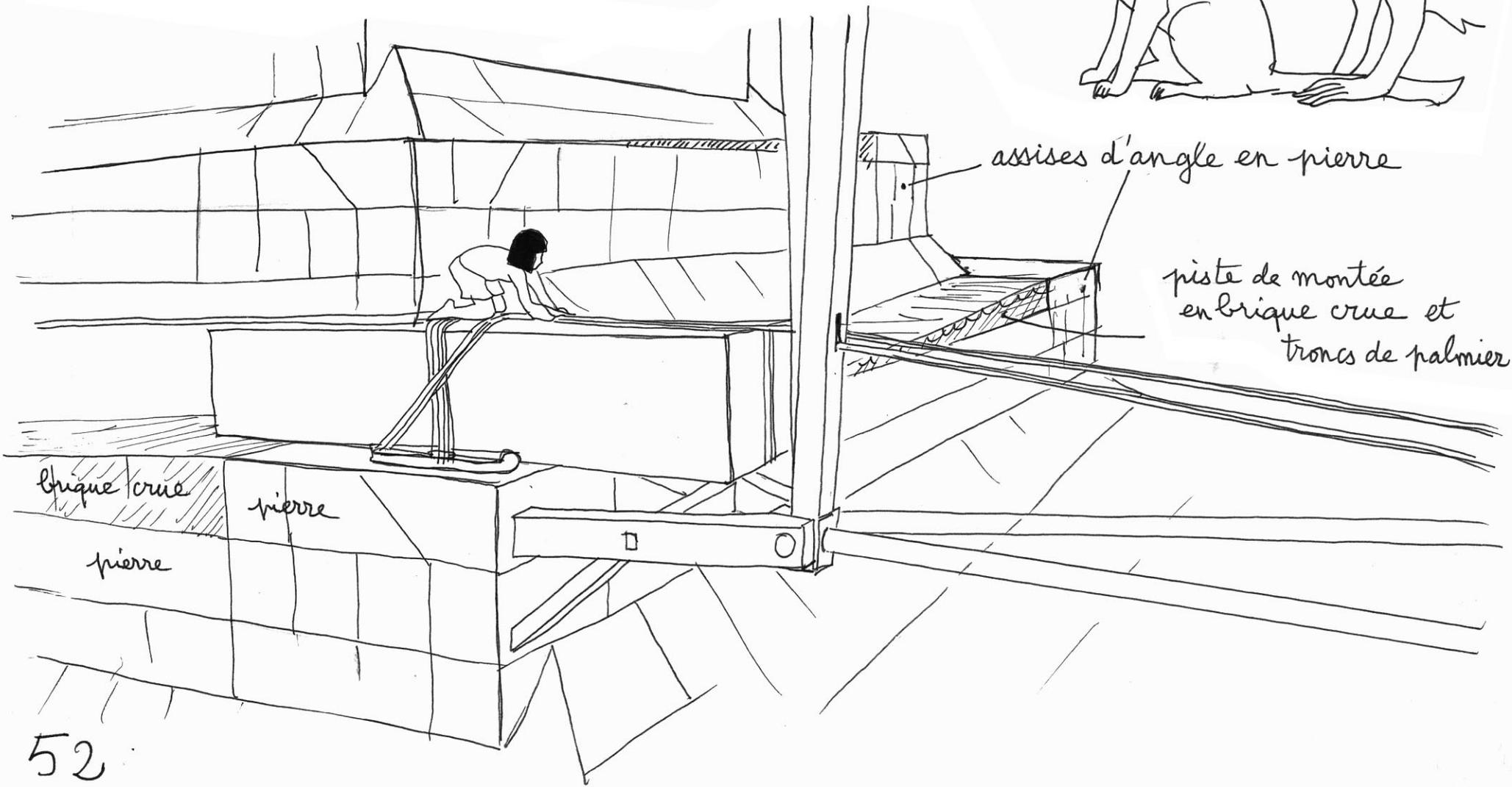
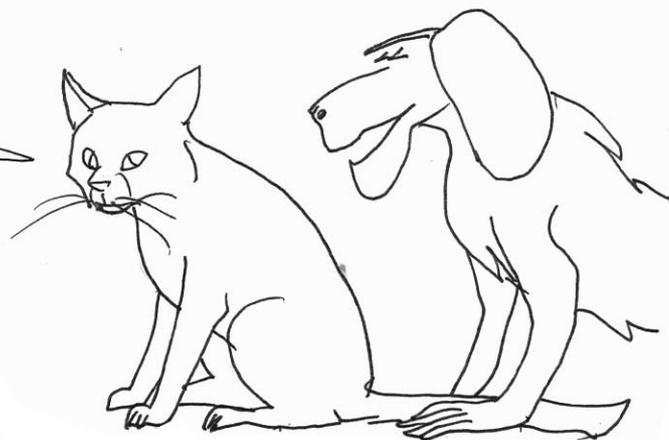
le bloc montait
assez vite, sans un
temps d'arrêt

certes, mais comment
ça se passe quand
on arrive à l'angle?

pas de problème

la rampe de Goyon était en
brique crue. celle-ci est en pierre

quand le bloc arrive à l'angle il se positionne sur une plateforme horizontale en pierre, rendue glissante par du limon humide. On peut alors le faire riper sur ce support



le bloc peut alors entamer sa montée
sur le segment de rampe suivant

ça a l'air de coller avec
le texte d'Hérodote

contrepois
pour rappel



Hérodote, historien grec vivant au cinquième siècle avant Jésus Christ recueille de la bouche des prêtres égyptiens comment les pyramides avaient été bâties et en fait le récit suivant.

Ἐποιοῦθη δὲ ὧδε αὐτὴ ἡ πυραμὶς ἀναβαθμῶν τρόπον, τὰς μετεξέτεροι κρόσσας, οἱ δὲ βωμίδας ὀνομάζουσι· τοιαύτην τὸ πρῶτον ἐπέειπε ἐποίησαν αὐτὴν, ἤειρον τοὺς ἐπιλοίπους λίθους μηχανῆσι ξύλων βραχέων πεπονημένῃσι, χαμάθεν μὲν ἐπὶ τῶν πρῶτον στοίχων τῶν ἀναβαθμῶν ἀείροντες· ὅκως δὲ ἀνίοι ὁ λίθος ἐπὶ αὐτόν, ἐς ἐτέρην μηχανὴν ἐτίθετο ἐστεῶσαν ἐπὶ τοῦ πρώτου στοίχου, ἀπὸ τούτου δὲ ἐπὶ τὸν δεῦτερον εἴλκετο στοίχον ἐπὶ ἄλλης μηχανῆς. Ὅσοι γὰρ δὴ στοίχοι ἦσαν τῶν ἀναβαθμῶν, τοσαῦται καὶ μηχαναὶ ἦσαν, εἴτε καὶ τὴν αὐτὴν μηχανὴν εὐσαν μίαν τε καὶ εὐβάστακτον μετεφόρεον ἐπὶ στοίχον ἕκαστον, ὅκως τὸν λίθον ἐξέλοιεν· λελέχθω γὰρ ἡμῖν ἐπὶ ἀμφοτέρα, κατὰ περ λέγεται· Ἐξεποιοῦθη δ' ὧν τὰ ἀνώτατα αὐτῆς πρῶτα, μετὰ δὲ τὰ ἐχόμενα τούτων ἐξεποίεον, τελευταῖα δὲ αὐτῆς τὰ ἐπίγαια καὶ τὰ κατωτάτω ἐξεποίεον.

Ces pyramides furent construites à l'aide de degrés (ἀναβαθμῶν), certains étant des corbeaux (κρόσσας) et d'autres des plate formes (βωμίδας). Quand on eut commencé à construire de cette manière, on éleva de terre les autres pierres (λίθους) à l'aide de machines (μηχανῆσι) faites de (βραχέων) bois (ξύλων) et on les monta sur le premier rang d'assises. Quand une pierre y était parvenue on la mettait sur une autre machine qui était sur cette première assise. De là on la montait par une autre machine. Car il y avait autant d'assises que de machines - Peut être n'avaient-ils qu'une seule machine, facile à transporter d'une assise à l'autre.

Le système d'Anselme combine machine plus rampe, à la différence que celle-ci est en pierre. Les Krossai (Κρῶσαι) sont des pierres qui dépassent de la surface de la pyramide, ce que les architectes appellent **CORBEAUX**. Ainsi toute la charge de la rampe repose sur ces parties horizontales



Les bomides (βομιδαί) sont ces plate-formes d'angle sur lesquelles il est possible de faire tourner les plus lourdes charges; comme le rapporte Hérodote les pierres sont alors reprises en charge par une autre machine, etc. Anselme et Sophie ont beaucoup travaillé avec du carton et de la colle pour établir la cohérence de ce qu'Anselme a vu dans son rêve. Vous trouverez tout cela dans l'annexe A. Si vous le voulez, vous pouvez alors construire vous-même, en carton ou en bois, la maquette correspondant à ce modèle. Le fait que cette rampe (étroite) soit en pierre

fait qu'elle peut supporter des charges atteignant des dizaines de tonnes.

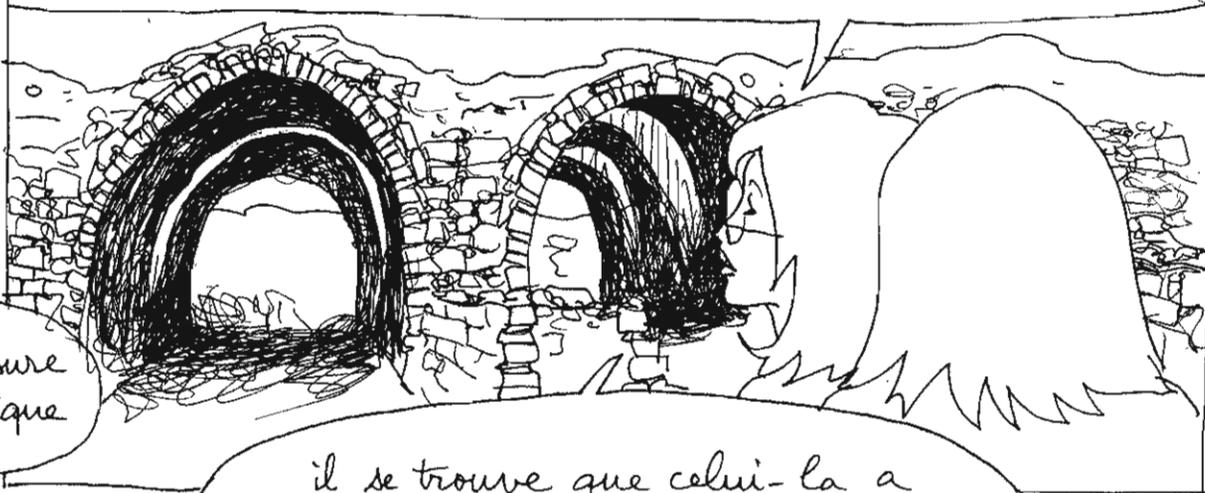
Cette rampe est assez large pour faire que les équipes descendantes puissent croiser les chariots montants, porteurs de blocs. Les travaux de finition de la pyramide laissent très peu de déchets non récupérables (les blocs triangulaires). Le reste peut être récupéré pour construire... d'autres pyramides en constituant leurs rampes externes. C'est ainsi que Snefrou, père de Khéops, construisit ses trois pyramides sur le site de Dashour. Puis son fils Khéops, son petit fils Keplren et son arrière petit fils Mykerinos construisirent les leurs.

elle est fantastique, cette Grande Galerie, tu as vu tous ces décrochements



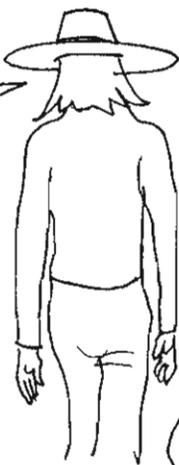
encore une mesure anti-sismique

les Anciens Egyptiens étaient parfaitement capables de faire des voûtes. Ils en ont construit de nombreuses, mais dans des ensembles qui n'étaient pas faits pour durer: des magasins, comme celui du Ramasseum, à Thèbes



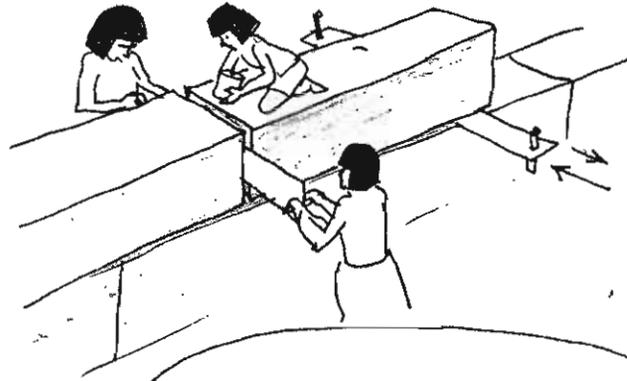
il se trouve que celui-là a échappé aux séismes. Sinon il se serait immédiatement écroulé

je repense aux pierres de cette Grande Galerie. On ne pourrait même pas passer une lame de rasoir dans leurs joints



il ya une première façon d'expliquer cela(*)





En 2004 Jean-Pierre Petit suggère que les ouvriers aient pu traiter in situ les joints en abrasant les faces en regard à l'aide d'une lame de cuivre entraînant de la poussière de quartz (*). Pour les joints verticaux cette poudre est à mélanger avec du limon afin d'obtenir une pâte abrasive -

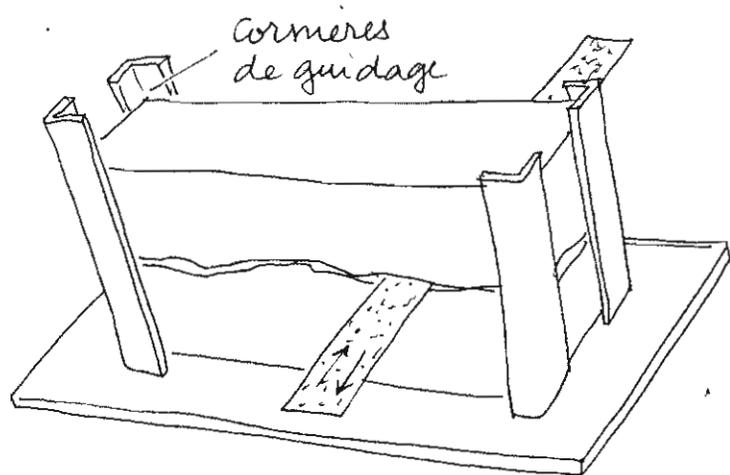
en fin d'opération les deux blocs sont intimement joints, éventuellement selon une surface gauche, ce qui entraîne leur repositionnement automatique en cas de microséisme

Génial!



Vous pouvez illustrer ce concept en prenant deux blocs de balsa. Commencer d'abord par détruire la planéité de deux de leurs faces en les attaquant avec un instrument quelconque - Puis abrasez ces faces en regard avec un "papier de verre double face" que vous fabriquerez en contre collant deux bandes

(* du corail, très abondant à Assouan

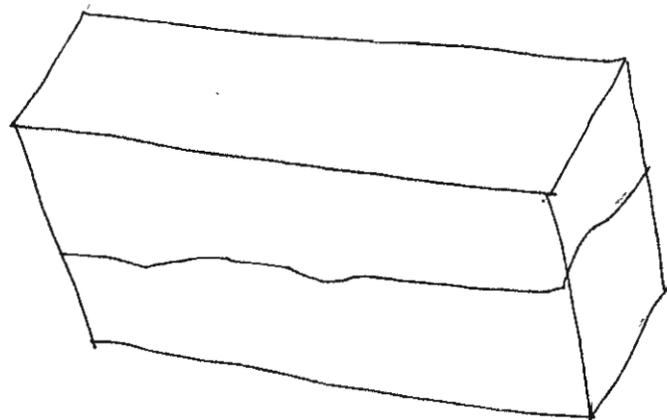
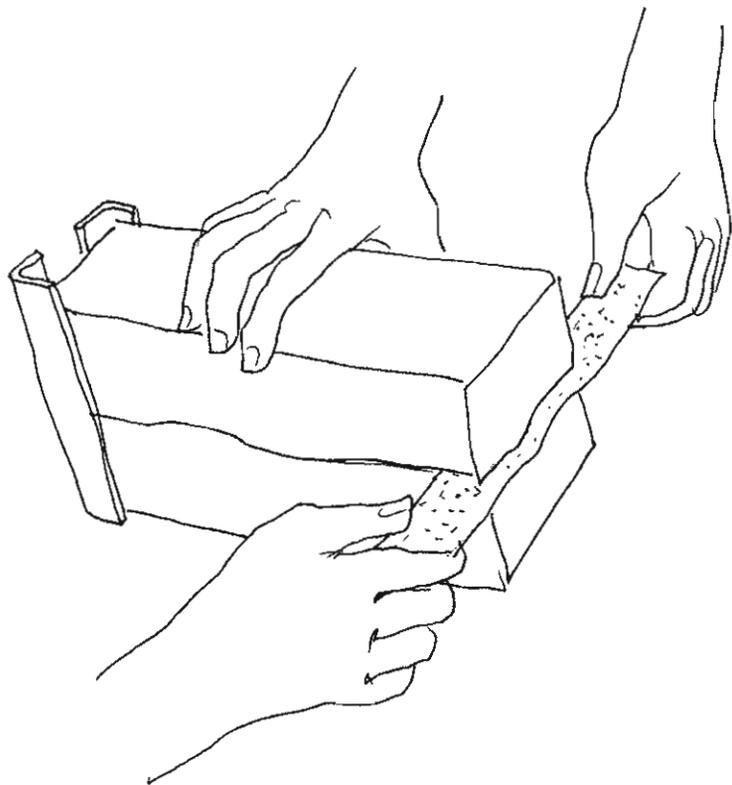
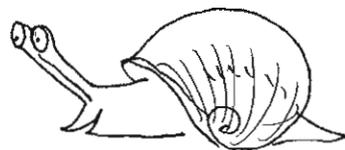


Cormières
de guidage



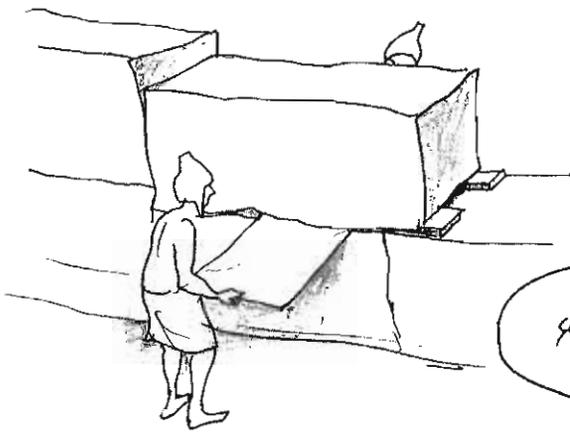
face abrasive

deux rubans de papier de
verre contre-collés



Résultat : les deux blocs sont dotés de
deux surfaces gauches, mais parallèles

En Amérique du Sud J.P. Petit suggère (2004) l'abrasion de deux faces en regard à l'aide d'une couverture de laine gorgée de poussière abrasive (ces gens ne connaissent pas le métal mais fabriquent eux aussi des... pyramides).



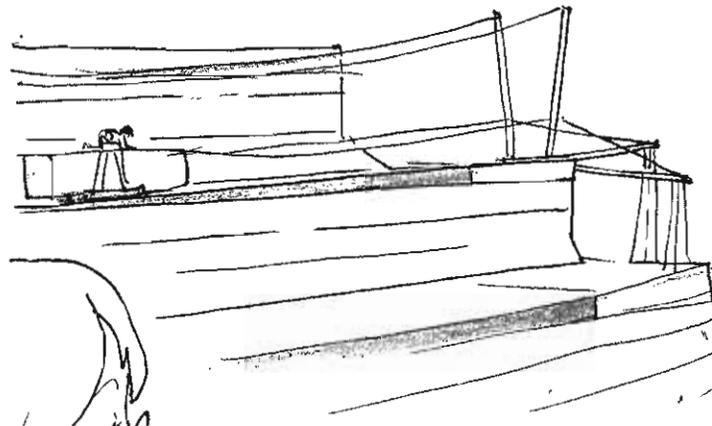
ça serait à essayer



de quoi te souviens-tu encore ?

J'ai vu ...
... beaucoup
de choses





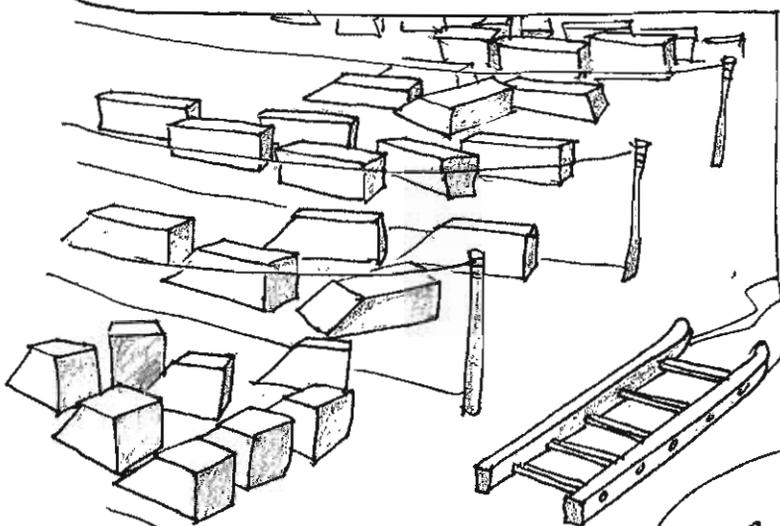
pendant que ces deux machines travaillaient en alternance et faisaient monter un chariot de bois dont les skis glissaient sur de l'argile humide, j'ai remarqué que les rampes étaient constituées en couches

mais, dans ces systèmes de rampes on se heurte toujours au même problème: Comment les accrocher sur un système d'assises en pierre, sous-jacente, dont la pente peut atteindre 52 degrés !?

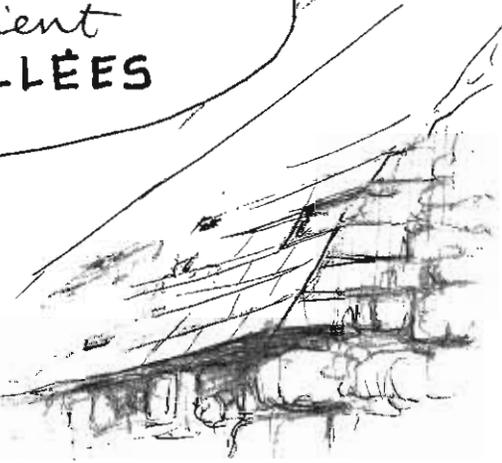
cette rampe-là était en **PIERRE**!

fort bien. Mais où sont les centaines de milliers de mètres cubes de pierre constituant celle-ci, qui subsisteraient après démontage de cet **ÉCHAFAUDAGE DE PIERRE**?

sur le plateau je voyais une énorme quantité de pierres, rangées par types. Certaines, taillées avec soin, étaient en calcaire fin. D'autres étaient faites de calcaire plus grossier, dont seules les faces horizontales étaient planes. Il y avait enfin une masse de débris de taille que des ouvriers chargeaient dans des sacs



voyons le côté archéologique. on retrouve nombre de ces pierres sur le site. Ce que tu dis suggère que les pierres du revêtement seraient amenées sur les assises **DÉJA TAILLÉES**

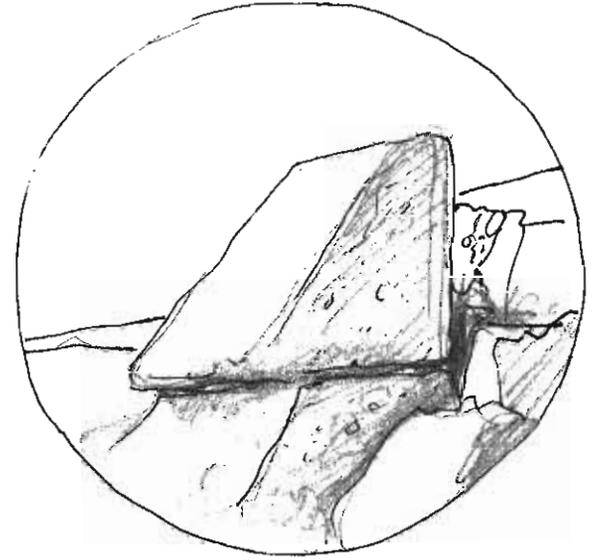
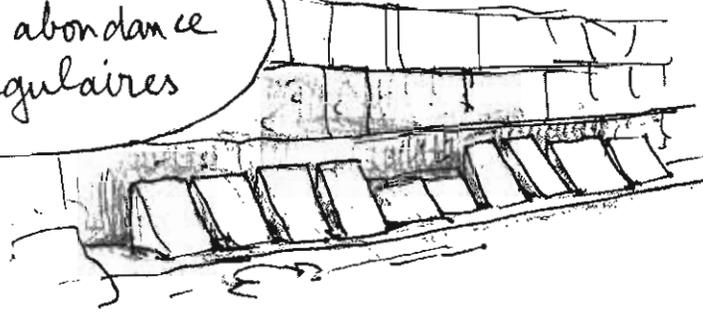


revêtement de la pyramide d'Ounas - Sakkarah

Kheops, la base - revêtement de la pyramide rhomboïdale



sur le site de Giseh
on trouve en abondance
des pierres triangulaires



le site ayant servi de carrière pour
la ville du Caire, toute proche, elles sont
restées là parce qu'on ne pouvait rien en faire

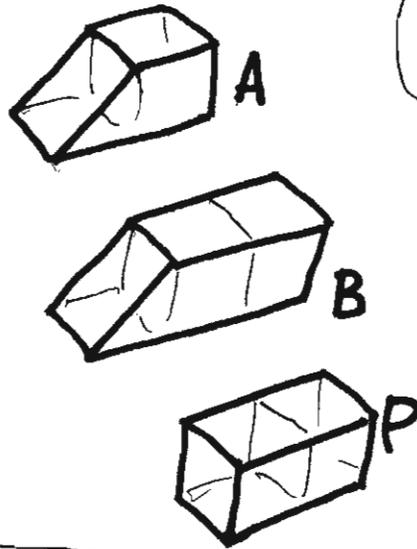
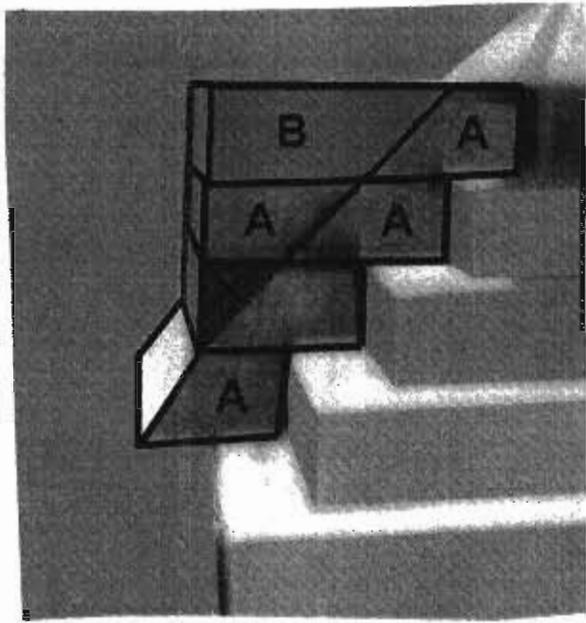


impossible de les utiliser
comme éléments d'un revêtement



cela pourrait être
un résidu de découpe
de ta rampe en pierre



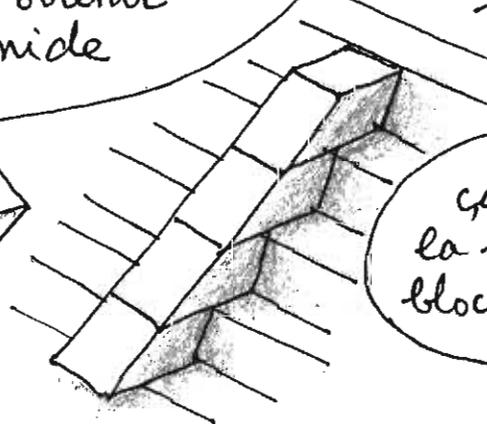
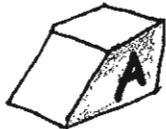
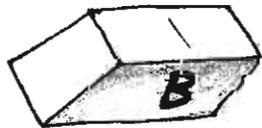


qu'est-ce que tu dis de ce schéma de rampe, qui s'appuie sur les assises, avec quatre éléments, un de type **A**, un de type **B** et un simple parallélogramme, ceux de mon rêve !

ça a l'air de se tenir. Quand la pyramide est achevée, il n'y a plus qu'à enlever deux éléments **A** et **B** et à opérer une découpe de la partie grisée pour obtenir la face de la pyramide

et qu'est-ce qu'on fait de ces deux blocs **A** et **B** ?

ça expliquerait la présence de ces blocs triangulaires



on les garde pour la pyramide suivante!

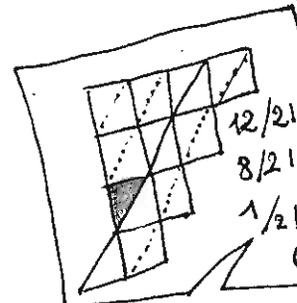


ce que vous dites, Tirésias, c'est que les pyramides seraient ... construites en kit!?

ça explique pourquoi Kheops aurait pu construire la sienne en seulement 25 ans

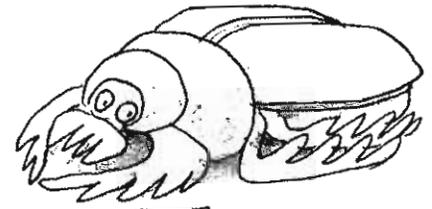
la structure en pierre est suffisamment solide pour soutenir une charge de dizaines de tonnes

la couverture en brique crue fournit une faible pente, ce système fait que les 3/4 de la surface de la pyramide sont **PRÉDÉCOUPÉES** la découpe in situ est minimale



57% de la pierre constituant cette rampe deviennent le **REVÊTEMENT** 38% seront pour la pyramide suivante, avec seulement 5% de déchet

Reste à comprendre comment cette rampe (Krossai) se boucle sur des plateformes carrées, aux angles (bomidès)



LA RAMPE EN PIERRE de JEAN-PIERRE PETIT

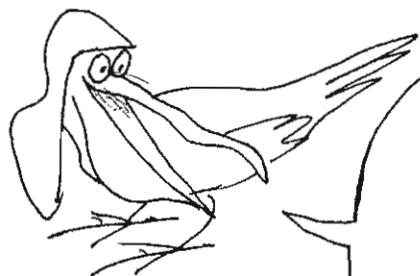
Sophie et Anselme ont commencé par construire des maquettes en utilisant du papier "bristol" muni d'un quadrillage dont les mailles font 5 mm x 5 mm. Nous allons commencer par là.



L'ALGORITHME

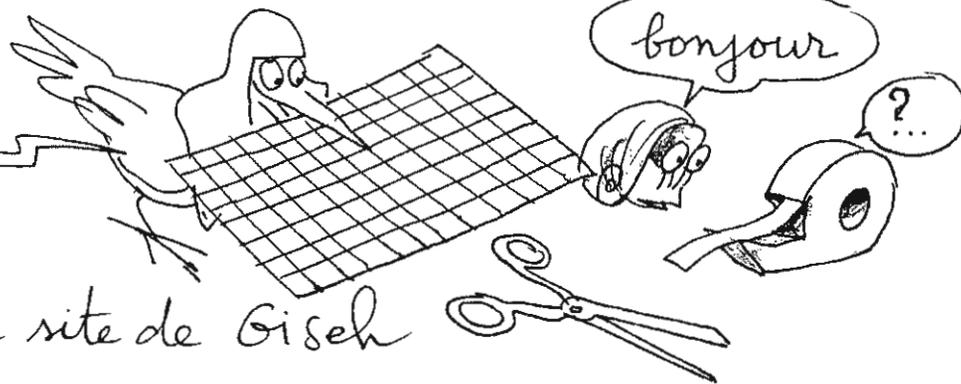
C'est la solution du problème géométrique suivant :

Comment engendrer, par **RÉCURSIVITÉ**, un objet ayant une symétrie d'ordre 4 (une pyramide) à l'aide d'un objet suivant une trajectoire montante et spiralée ?



on veut ensuite que cet objet, plaqué contre les assises d'une structure pyramidale sous-jacente (*) constitue à la fois un **ÉCHAFAUDAGE EN PIERRE** permettant l'acheminement des blocs sur une rampe de montée et, une fois l'ouvrage achevé, le revêtement. Et cela, avec un minimum de déchets non ré-utilisables(*)

on va commencer par travailler avec du papier bristol quadrillé



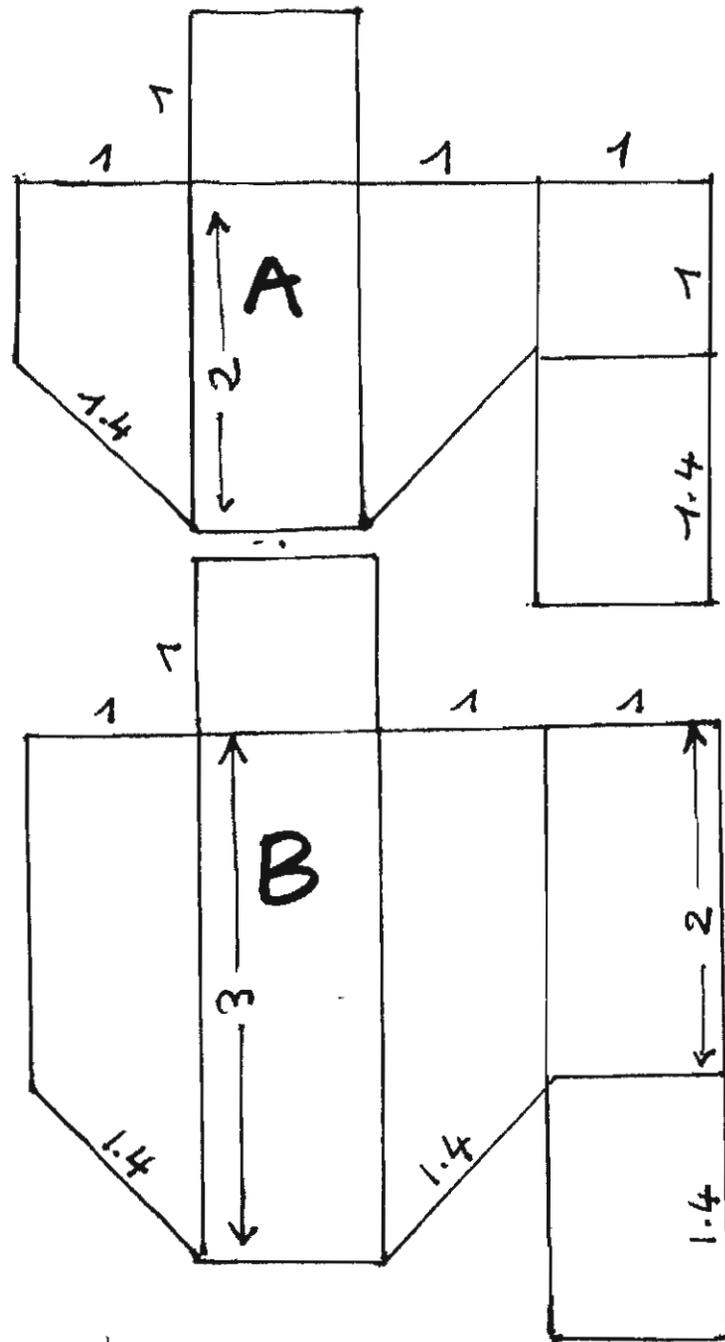
* les blocs triangulaires  abondants sur le site de Giseh

Vous êtes le nouveau pharaon Kheops. Le pharaon Snefrou, votre papa, vous a légué une montagne de pierres déjà taillées, dont lui-même s'est servi pour édifier sa **PYRAMIDE ROUGE** et sa **PYRAMIDE RHOMBOÏDALE**, plus au sud, sur le site de **DASHOUR**. Véritable kit permettant de constituer un échafaudage en pierre, ces pierres vont vous permettre d'édifier votre super-pyramide en seulement vingt années. Grâce aussi aux pierres facilement extraites de la carrière de Giseh, qui possèdent automatiquement des faces planes et horizontales, puisqu'elles sont taillées dans des couches sédimentaires de calcaire grossier, séparées par des fines couches d'argile.

Vous allez donc constituer
et blocs de type **B**. (*)

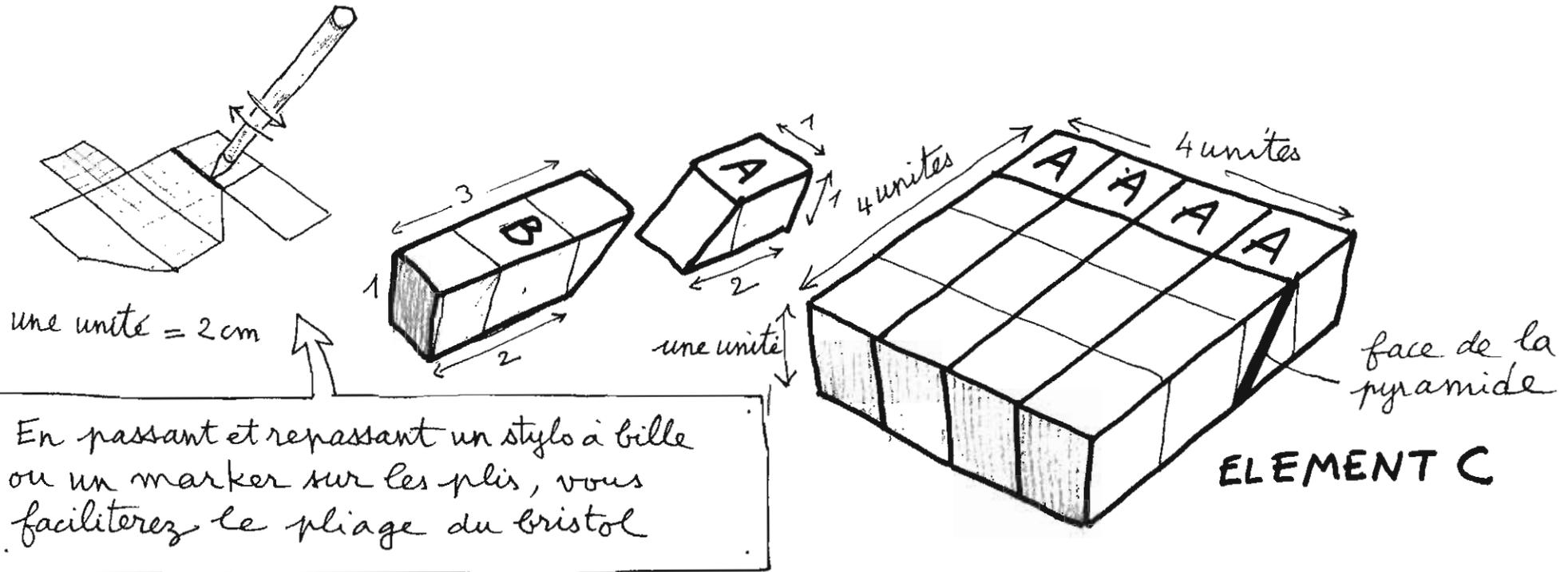
blocs de type **A**

c'est un peu fastidieux,
on sait. Mais la bonne
compréhension est à ce prix



(*) si vous optez pour la menuiserie, découpez cela dans des baguettes de 2cm x 2cm

cette longueur de 2cm est purement indicative c'est l'unité u.



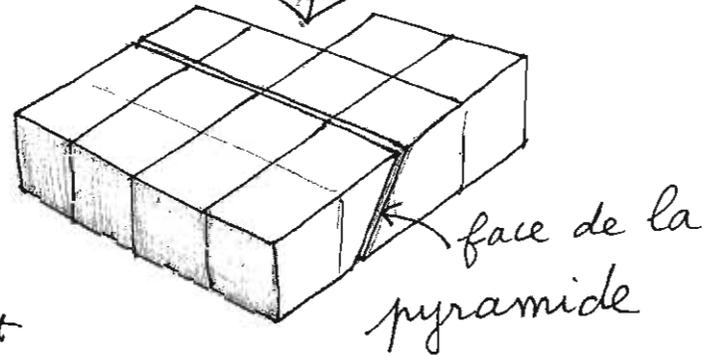
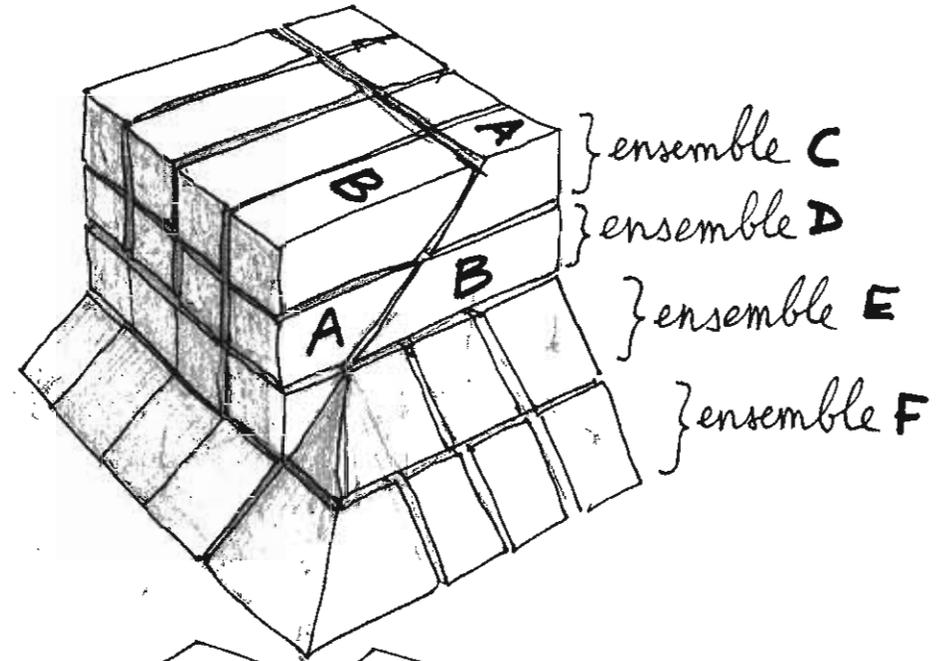
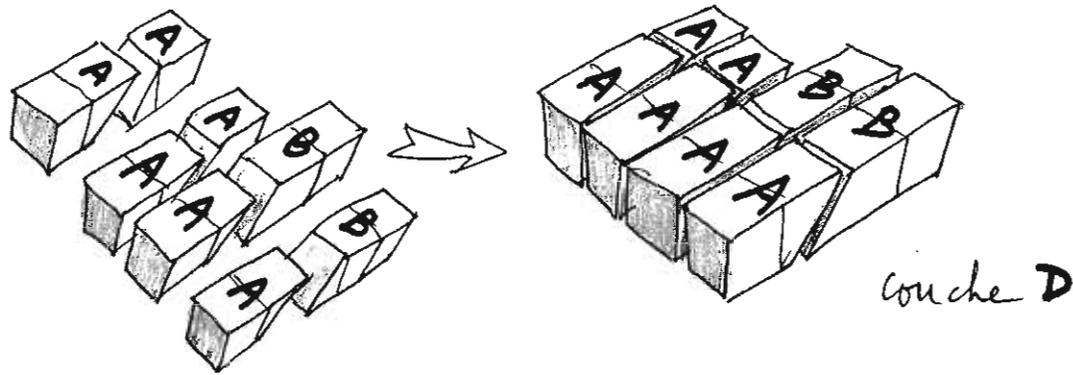
En accolant 4 éléments de type **A** et quatre éléments de type **B** vous obtiendrez l'ensemble **C** qui représentera la plateforme d'angle sur laquelle des monolithes, de 20 à 60 tonnes (52 au total dans la pyramide de Khéops) pourront opérer un virage à 90°, sur un lit d'argile humide, une technique mentionnée dans le bas-relief où on voit 172 haleurs tirer la statue de Djehutihotep. Voir page 29.

si vous doutez de l'efficacité de cette technique mettez du liquide pour la vaisselle sur le carrelage de votre salle de bains. Puis essayez de traverser cette pièce sans vous casser la figure!

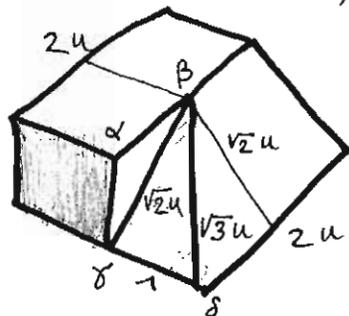
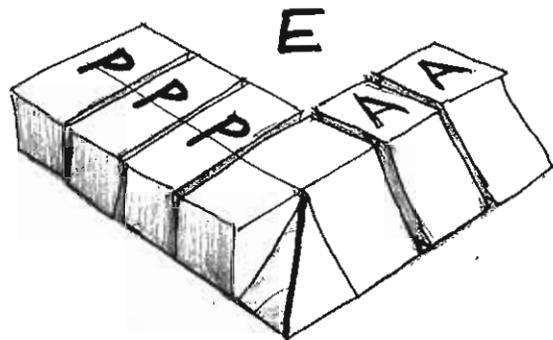
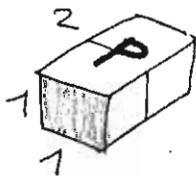


La **PIÈCE D'ANGLE** est composée de quatre couches de pierres prédecoupées.

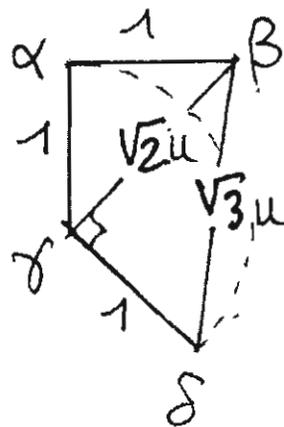
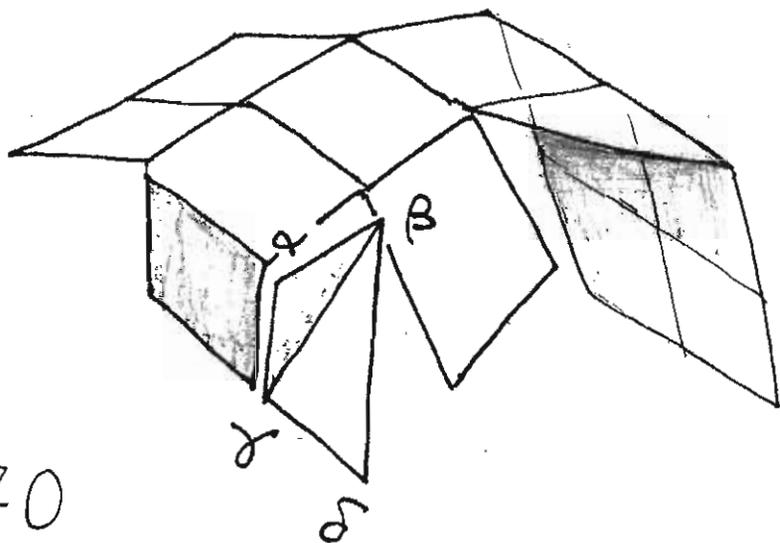
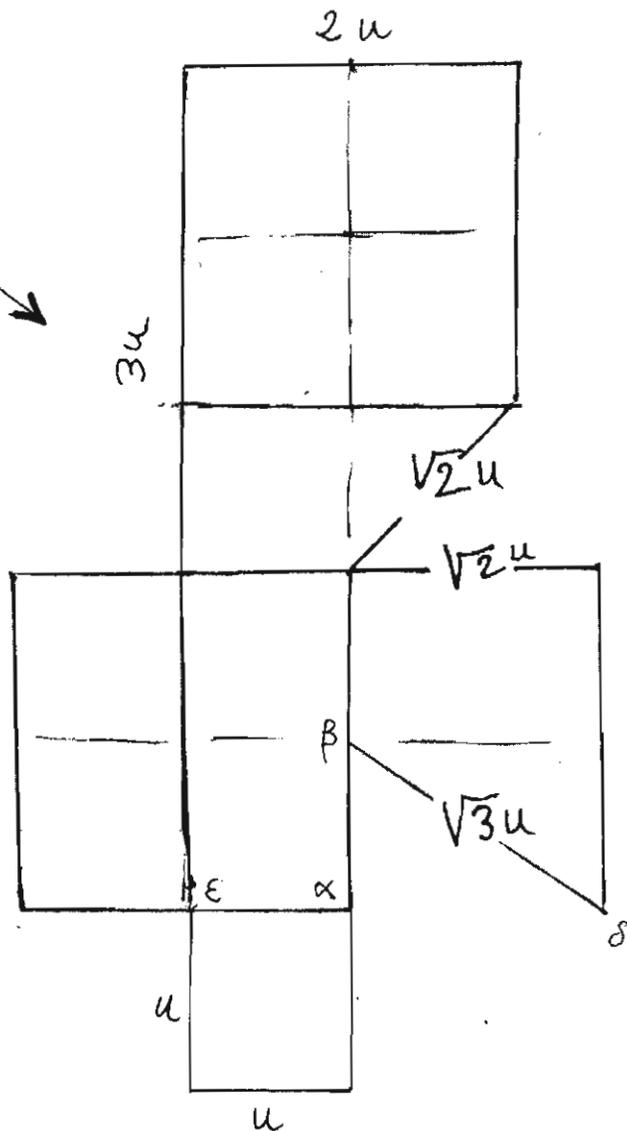
Ci-dessous, voici comment constituer la couche suivante, la couche **D**, toujours à partir du stock de blocs standards **A** et **B**



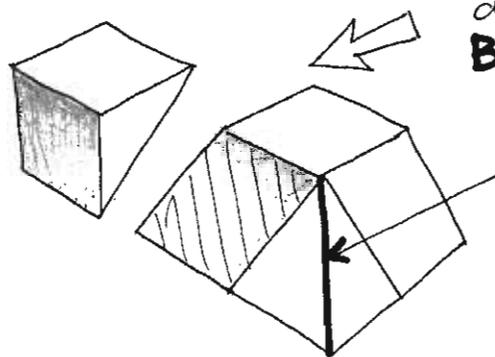
Dans tout ce qui va suivre on va faire comme si la pente des faces valait l'unité, qu'elles faisaient un angle de 45° avec l'horizontale. Or les pyramides ont des faces plus inclinées. La pente de celle de Khéops est $14/11$, ce qui correspond à un angle de $51^\circ 30' 34''$. Les puristes pourront introduire cette donnée en remplaçant la valeur unité u pour les maillages horizontaux par $\frac{11}{14}u = 0,7857u$



L'ensemble **E** est formé de deux blocs de type **A**, de trois parallélépipèdes **P** de côtés $u \times u \times 2u$ et d'un bloc dont le découpage ci-contre vous donne la forme

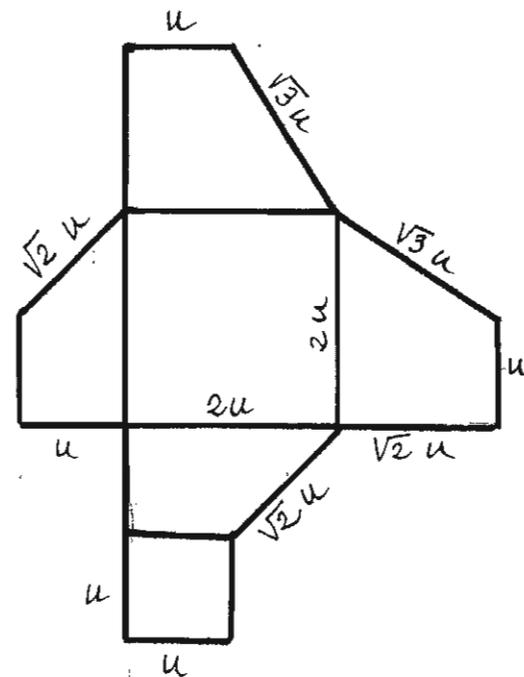
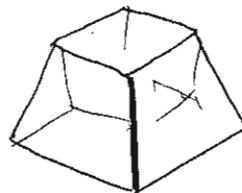
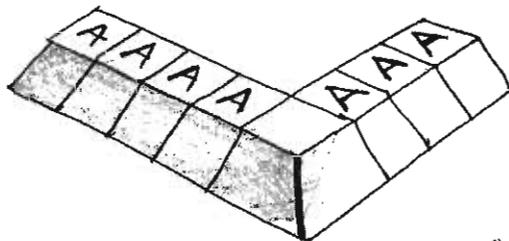


la découpe de cette pièce **E** fournit le seul déchet identifiable, sur le site: un nouveau **BLOC TRIANGULAIRE**

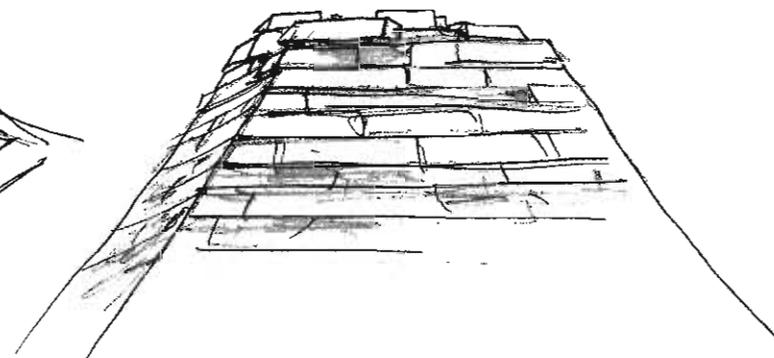
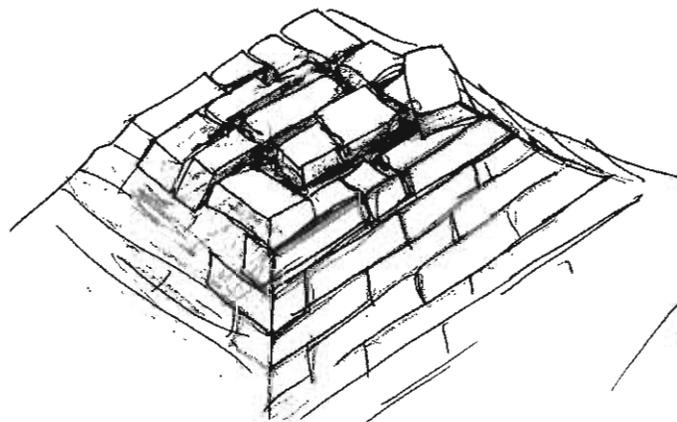


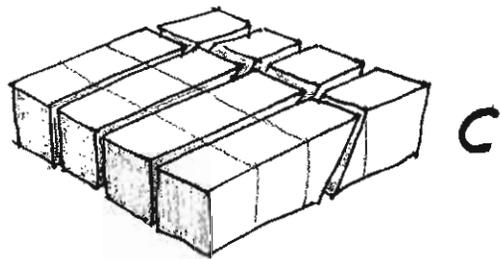
arête de la pyramide

La dernière couche **F** est constituée par 7 blocs de type **A** et par un bloc dont la forme correspond au découpage ci-contre. Tous font partie intégrante du revêtement

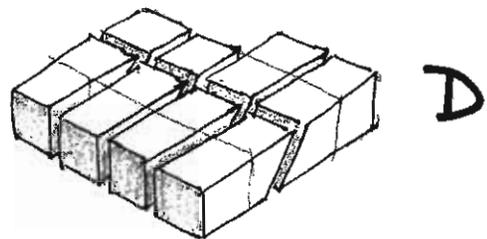


On trouve des associations de ces blocs dans le reste de la partie sommitale de la pyramide de Kephren:

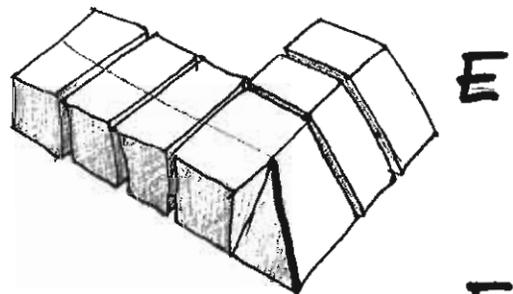




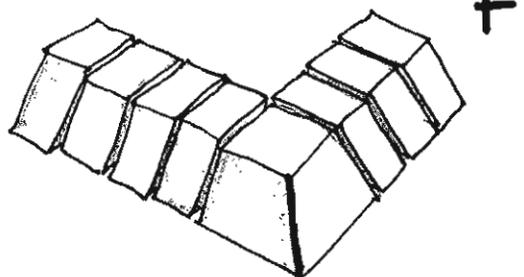
C



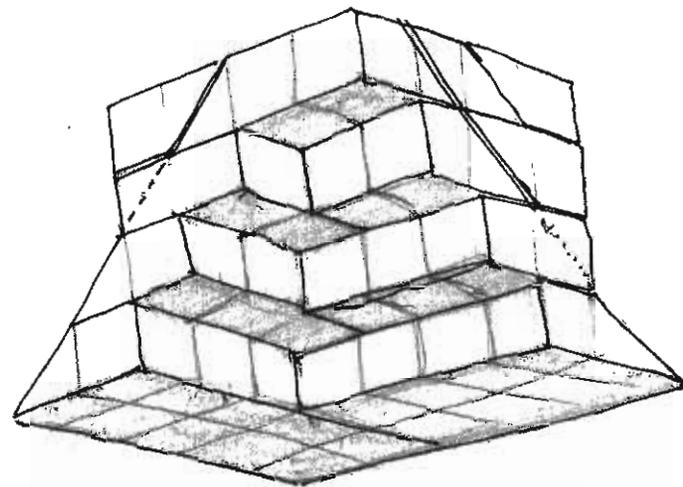
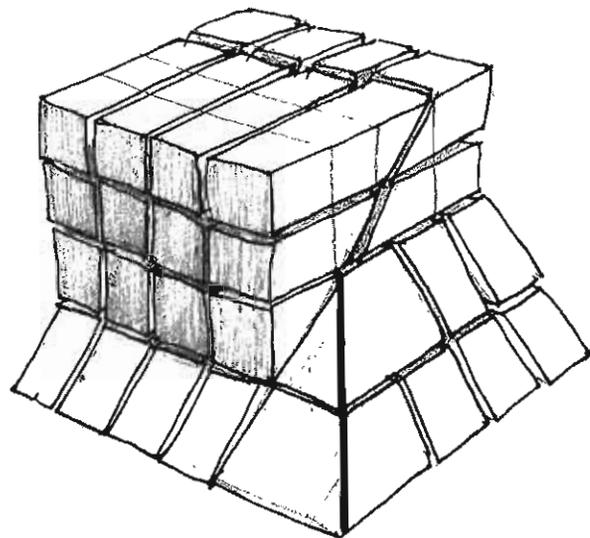
D



E

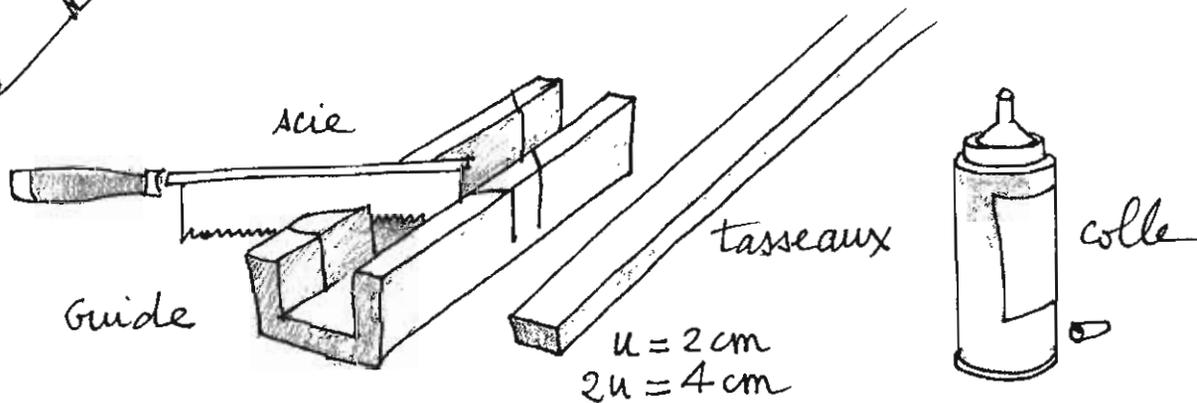


F



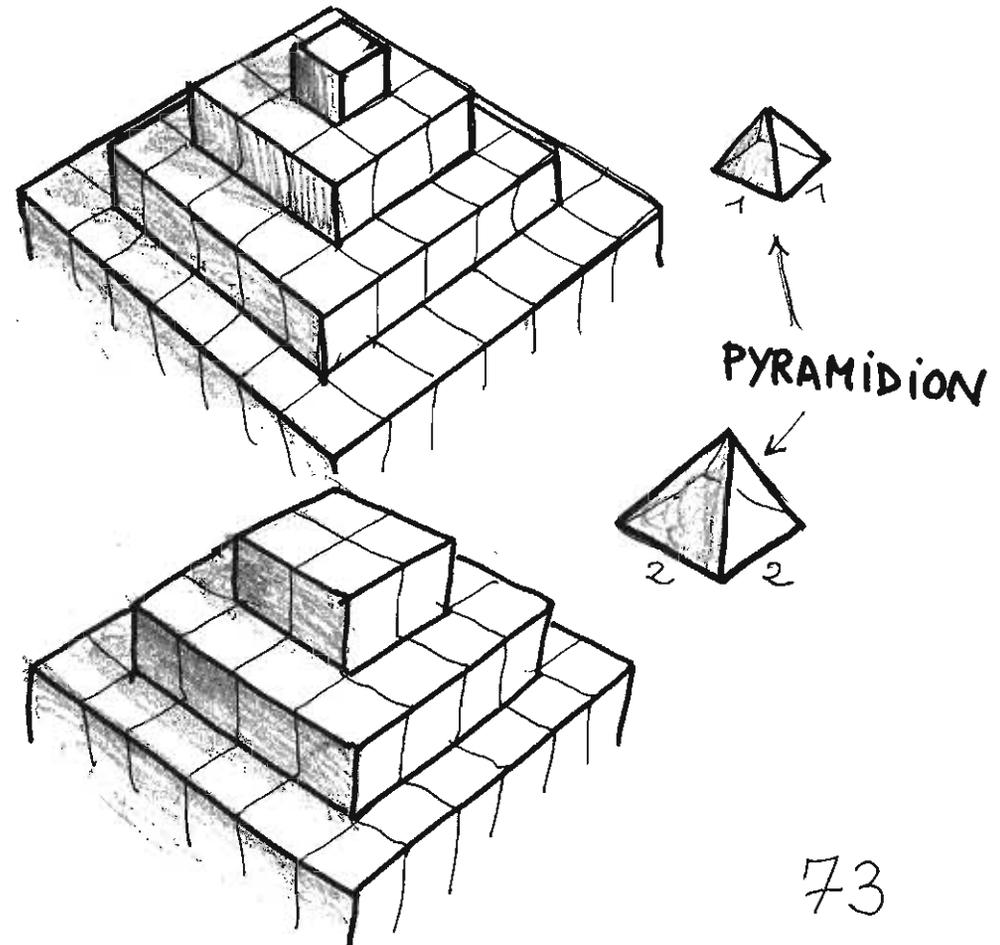
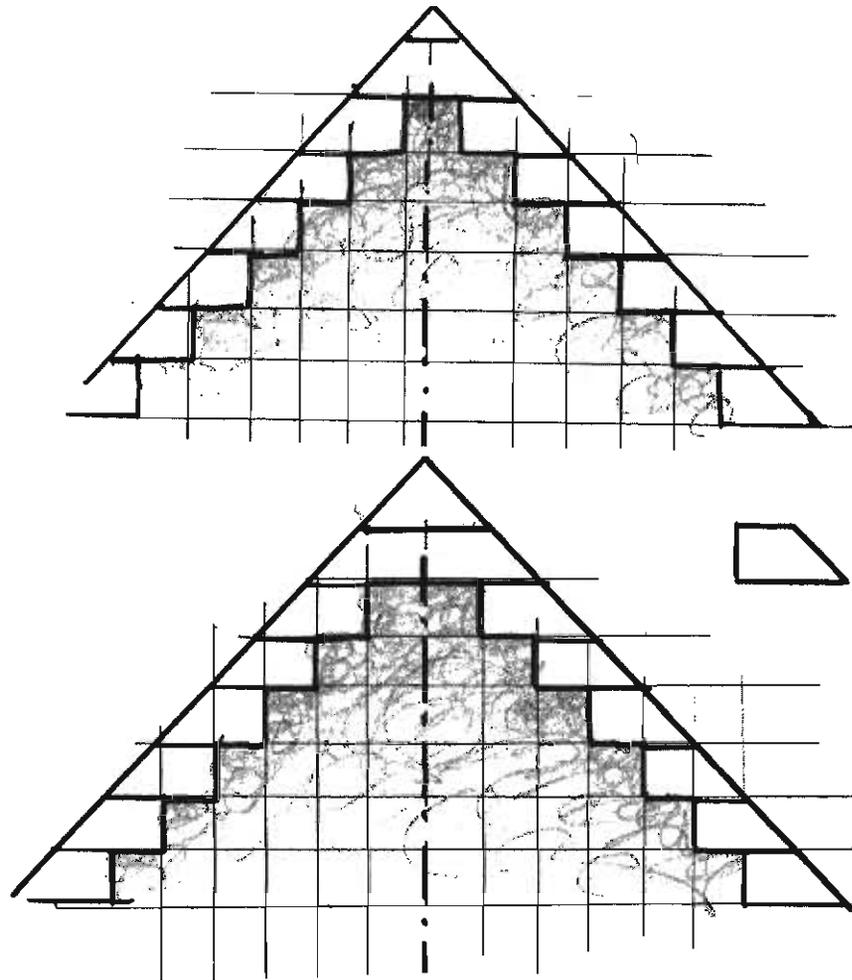
pour bien comprendre comment se situent ces blocs d'angle sur les assises, il est indispensable de construire une maquette. Et, pour les assises, il est plus facile de faire celles-ci à partir de bois

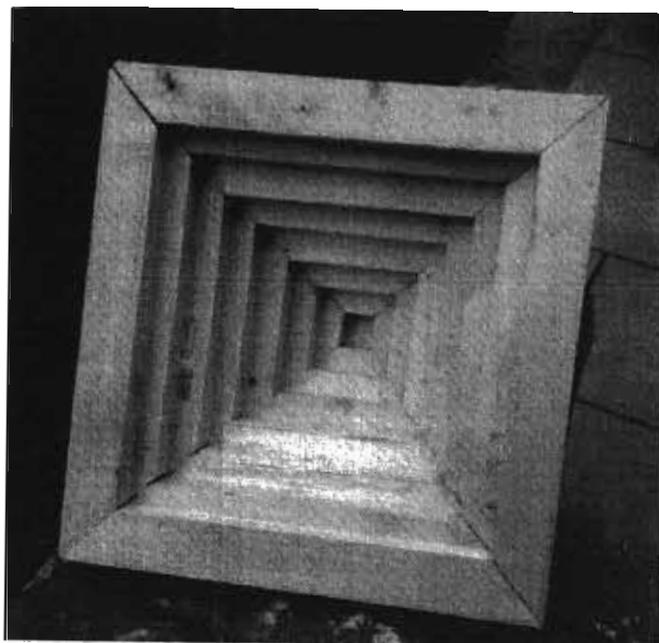
pour ce faire, voici le matériel



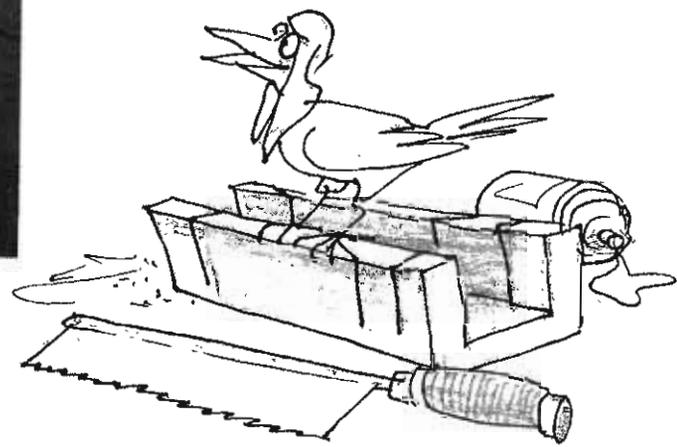
On suppose que vous disposez maintenant de plusieurs **BLOCS ANGULAIRES** de ce type. Nous allons voir maintenant comment ils se prennent en relai, d'une assise à l'autre, en constituant le support solide d'un chemin de montée, d'une **RAMPE HÉLICOÏDALE EN PIERRE**. Pour cela vous allez devoir créer les assises.

Il y a deux géométries d'assises possibles, ce qu'illustrent les dessins suivants. Les flancs sont identiques. Les pyramides diffèrent seulement par l'agencement des derniers éléments de leurs parties sommitales.

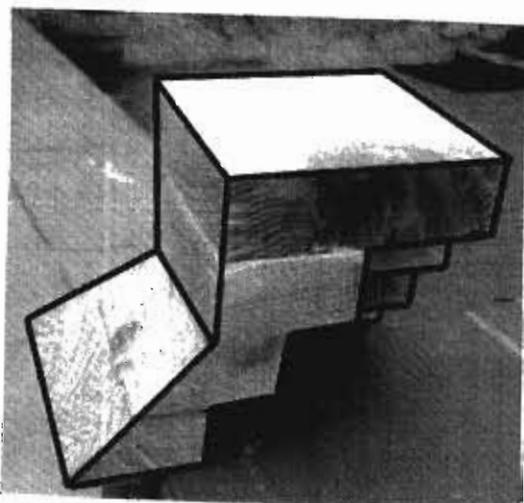
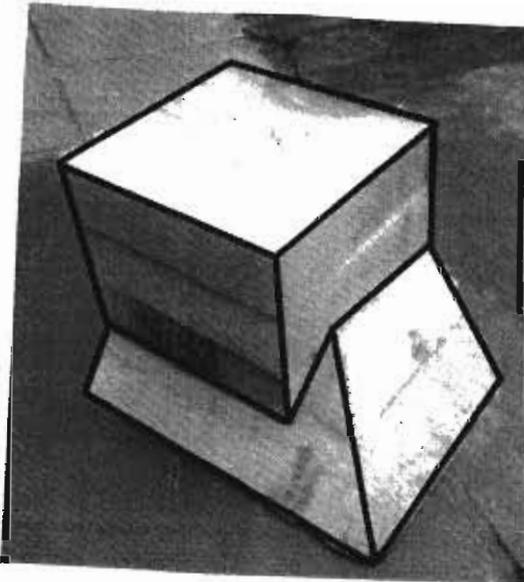
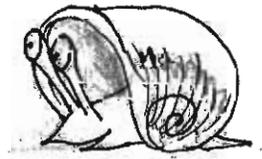


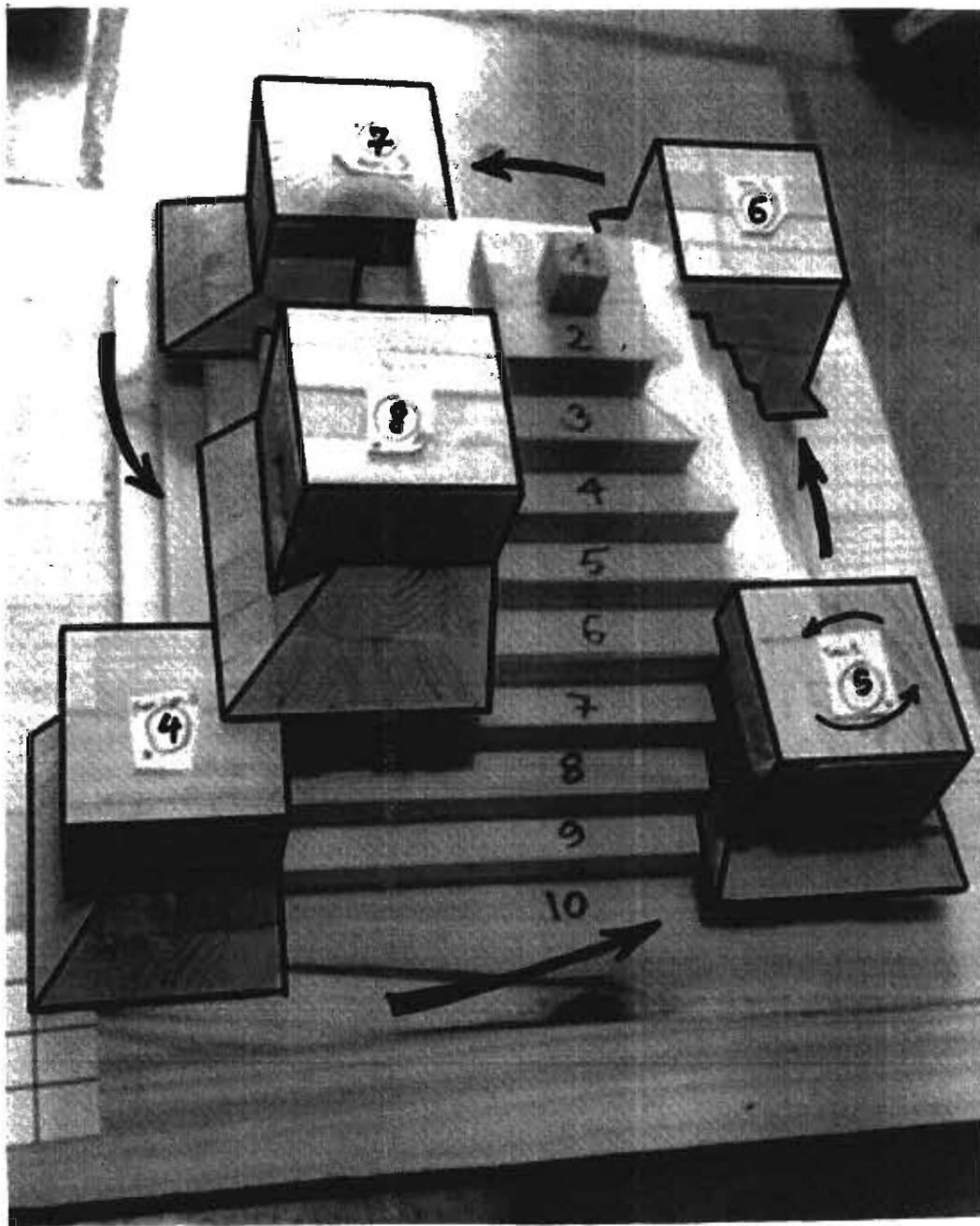


voilà une maquette
avec quelques assises,
réalisée avec des
tableaux de 2cm x 4cm,
une scie et de la colle



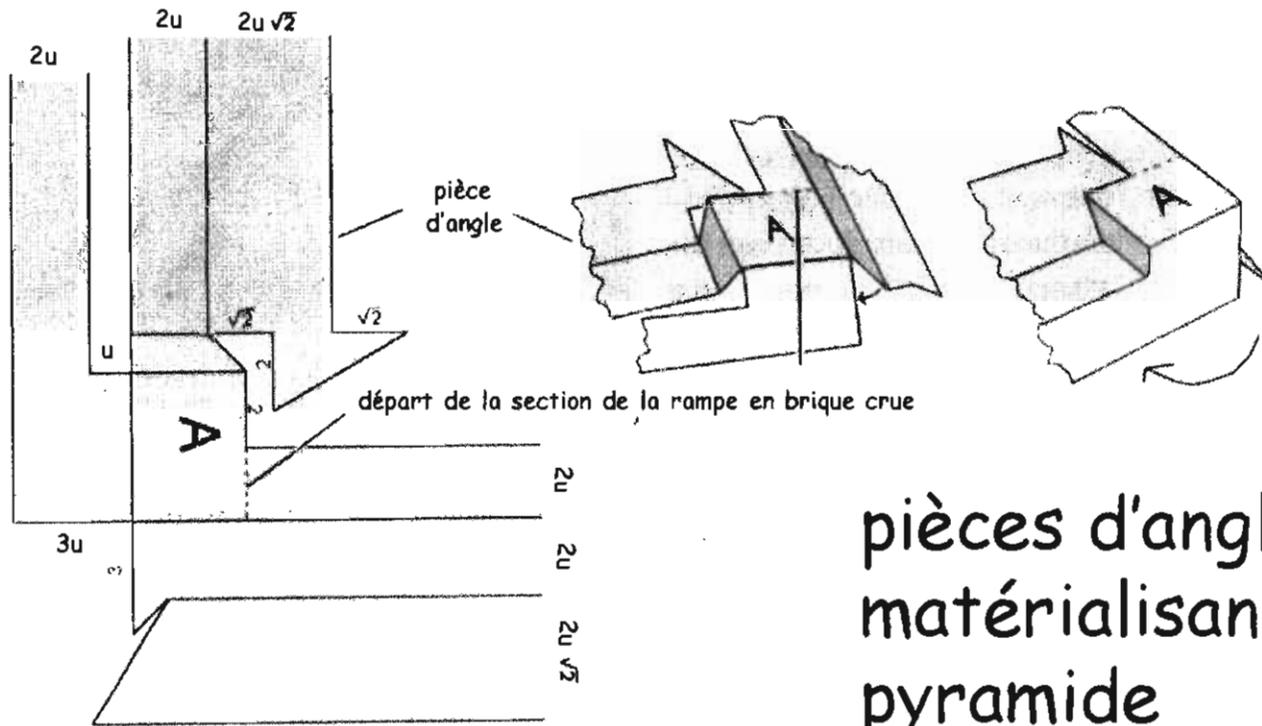
et des pièces d'angle
réalisées en bois



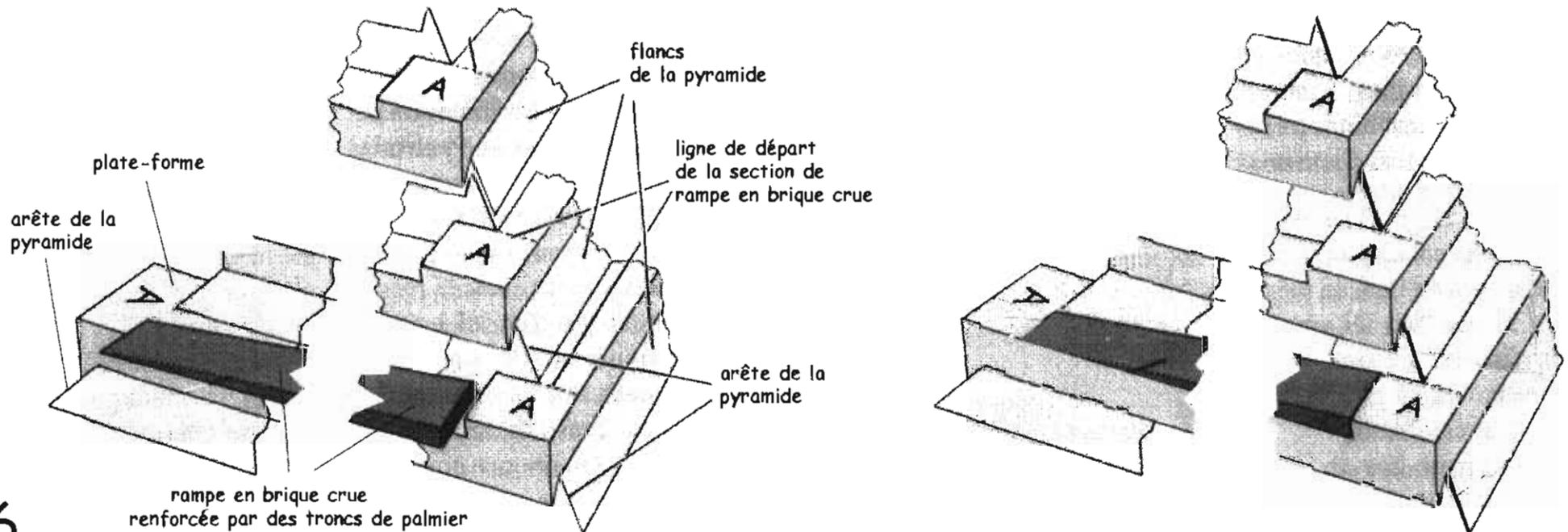


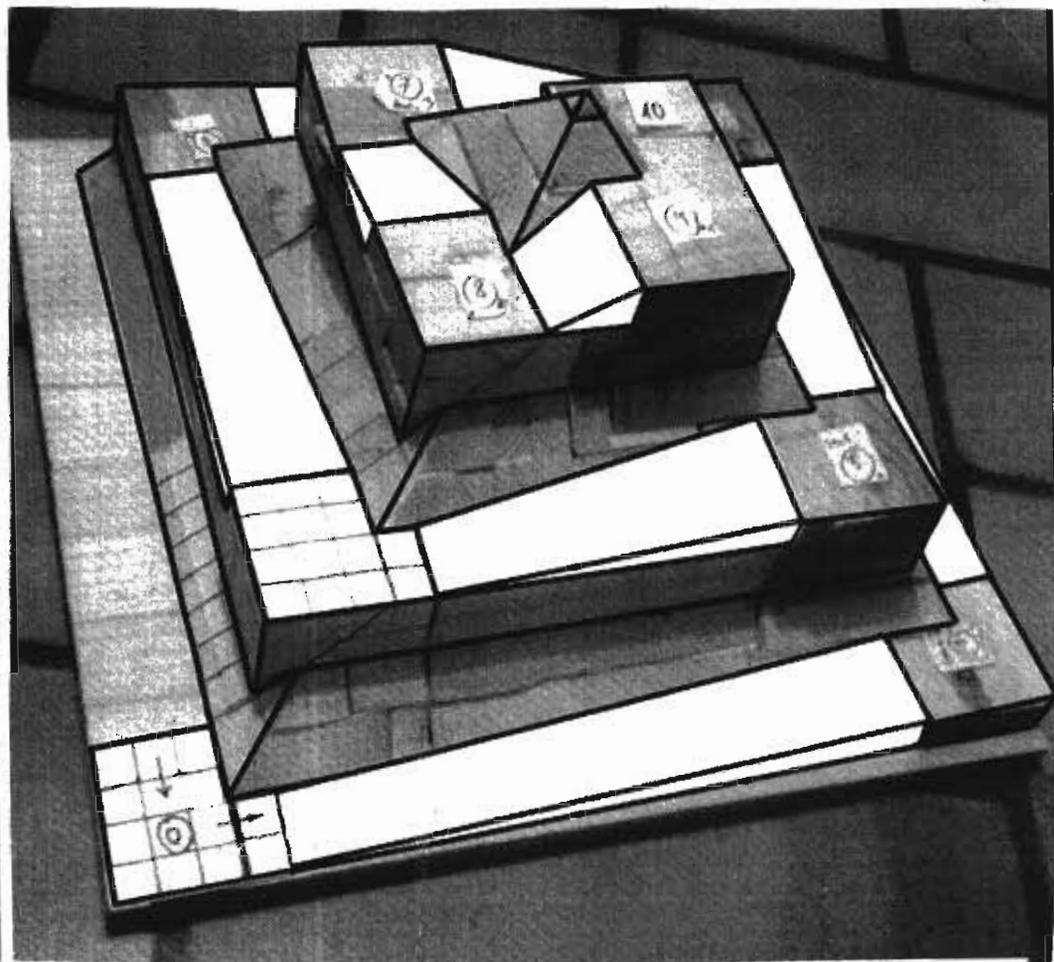
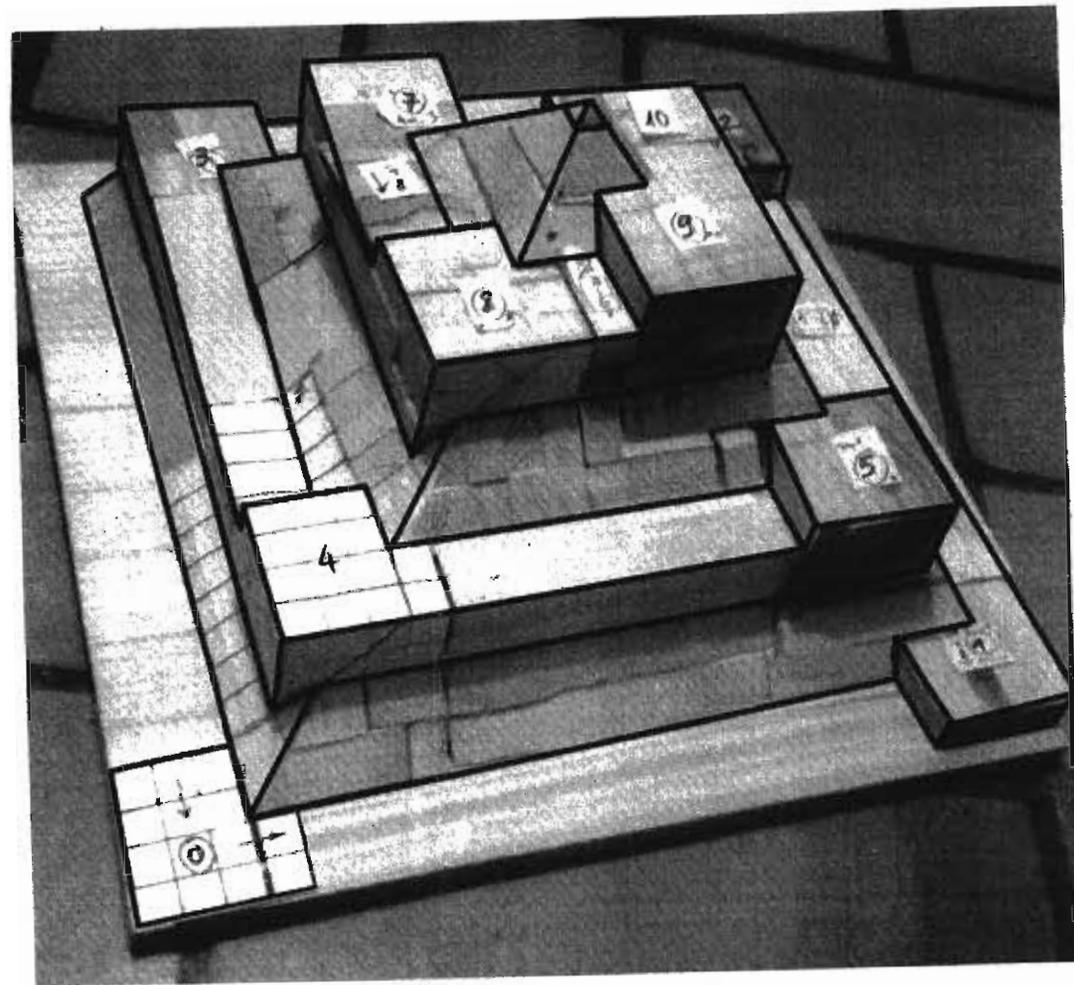
cette forme fournit une solution au problème posé. Partons de sa position 4, enveloppant les assises. On la fait glisser le long des assises. A l'angle suivant on lui imprime une rotation de $+90^\circ$ ainsi qu'une translation verticale égale à une hauteur d'assise (position 5). On réédite l'opération en 6, 7, 8. La pièce vient alors se positionner en appui sur la 4, comme indiqué. Par ce schéma **RÉCURSIF** nous obtenons l'algorithme d'engendrement de la rampe (*)

(*) la **RÉCURSIVITÉ** est un concept mathématique qui n'apparaîtra qu'au **XIX^e** siècle



Ce découpage permet de comprendre comment les pièces d'angle se superposent en matérialisant l'arête de la pyramide

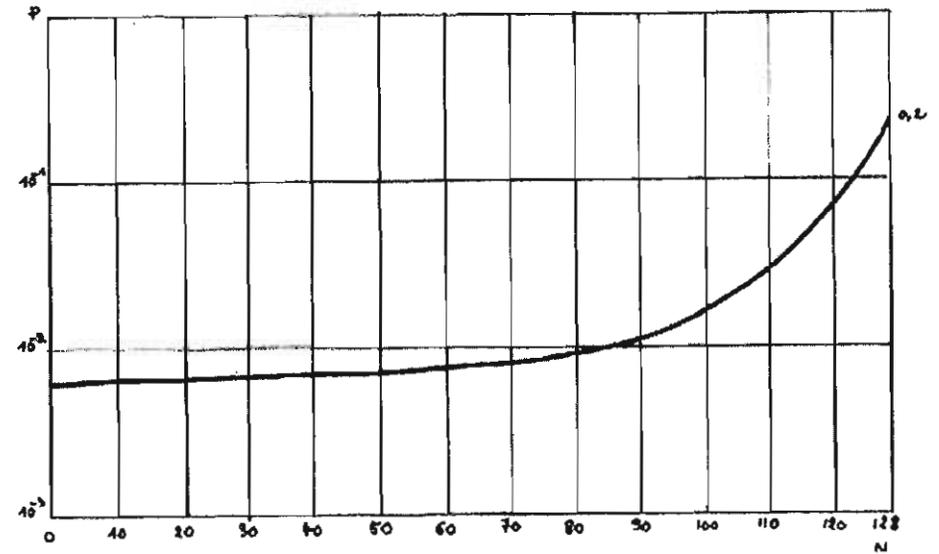
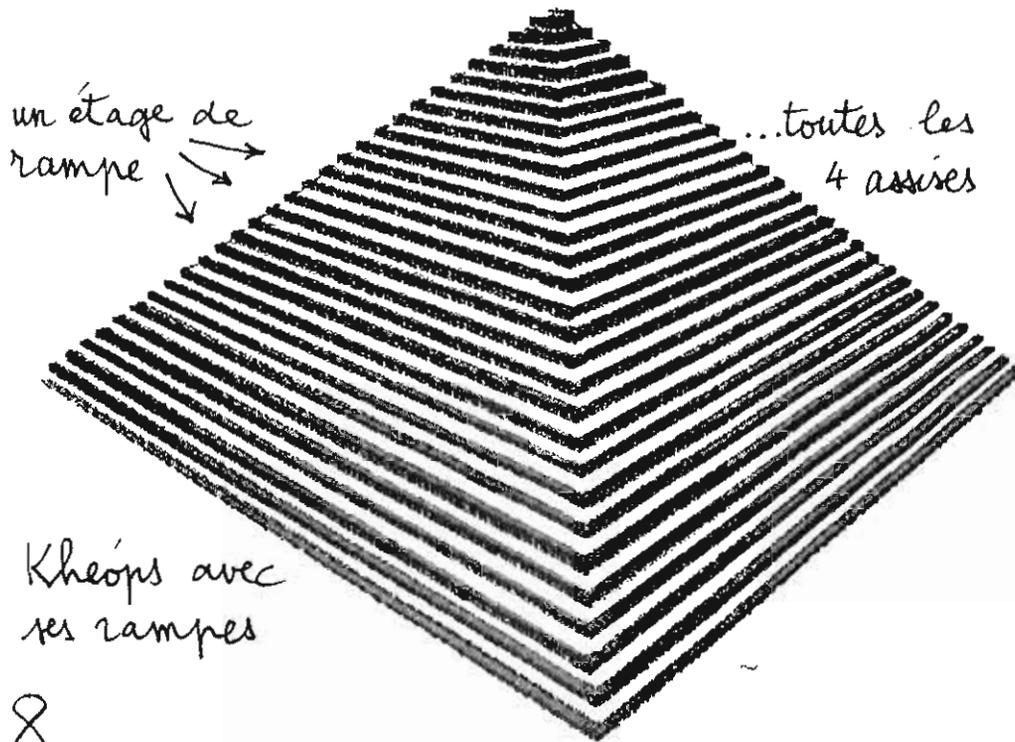




Il est facile de compléter la mise en place des **BLOCS D'ANGLE** 4 à 10 avec des blocs de type **A** et **B** et des parallélépipèdes de côtes $(u, u, 2u)$. C'est ce qui a été fait sur la maquette de la photo de gauche. A droite, indiquées en blanc, on a rajouté les plans inclinés en brique crue, renforcés par des troncs de palmier. Pour ceux qui veulent bien comprendre cette géométrie sophistiquée, se référer à l'**ANNEXE A**, qui décrit toutes les étapes du processus de montage de cette maquette et de son déshabillage faisant apparaître la pyramide et son **REVÊTEMENT**

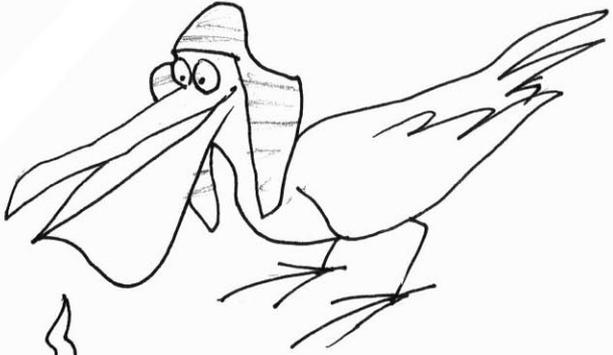
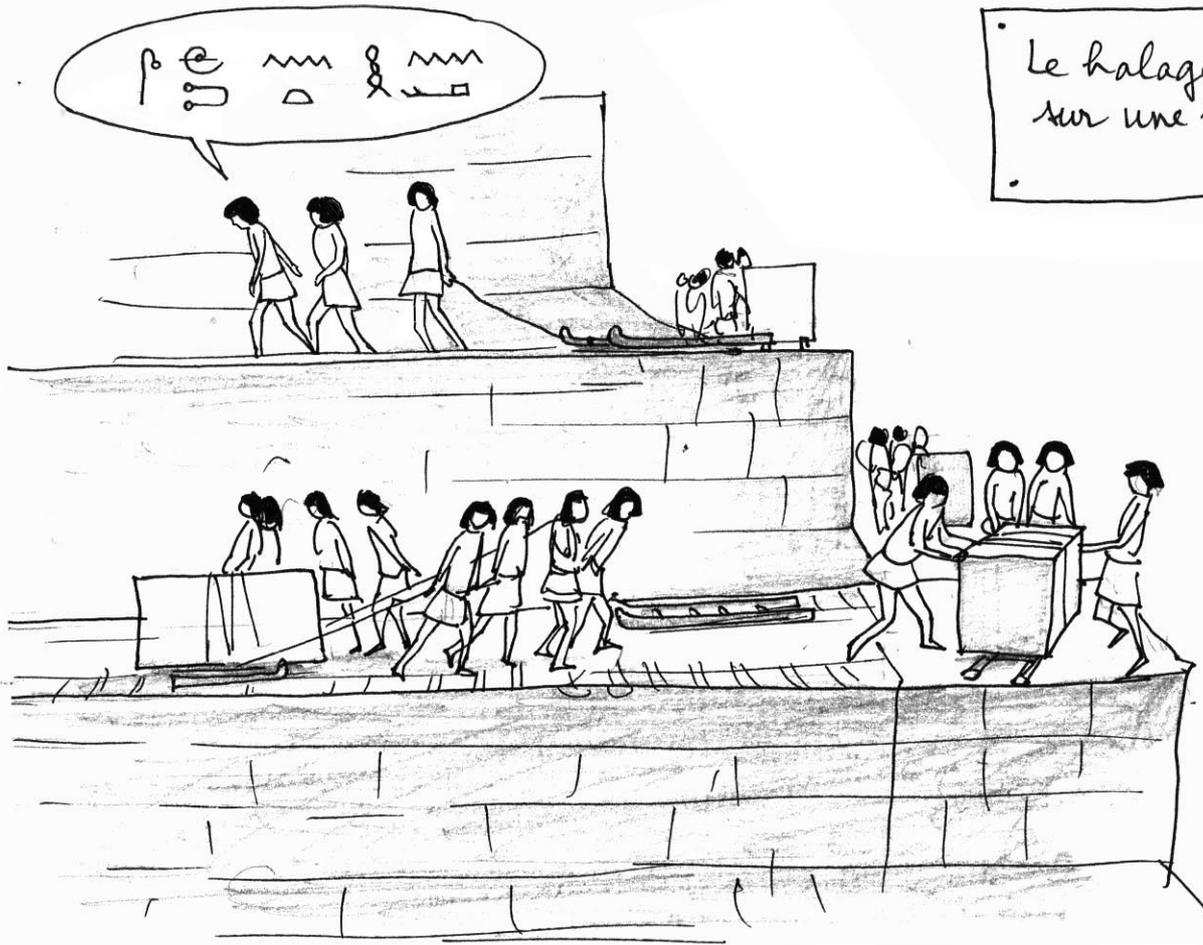


Bon, faisons le point. On a un système d'acheminement des composants des pyramides à l'aide d'une rampe en pierre, étroite, mais assez large pour permettre un double flux d'ouvriers, halant des blocs d'une à deux tonnes et demi, fixés sur des chariots glissant sur des pistes d'argile humide, ou redescendant les chariots vides. Dans les $4/5^e$ de la hauteur la pente de la rampe est inférieure à 1%, ce qui fait que la force de halage consiste essentiellement à vaincre le frottement et peut être mise en œuvre par quelques hommes. Aux angles, la rotation de 90° de ces "blocs standards" est assurée par ripage. Cette rampe, d'une trentaine de tours, voit sa pente s'accroître brusquement dans les derniers tours, dans la partie sommitale. Le cheminement complet représente, pour la pyramide de Kheops, treize kilomètres

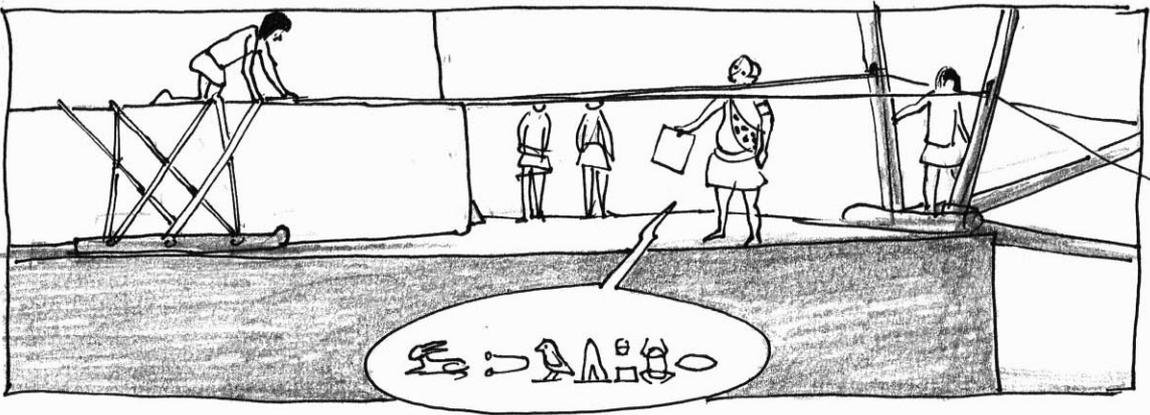


Evolution de la pente de la rampe.

Le halage des blocs "standards" sur une rampe de très faible pente



quand le programme implique la mise en place d'un des 52 monolithes de granite on change de technique. Les machines (voir pages 45 à 53) sont mises à contribution. grâce a elles deux demi douzaines d'hommes peuvent créer des forces de traction alternées de 400 à 1200 kilos

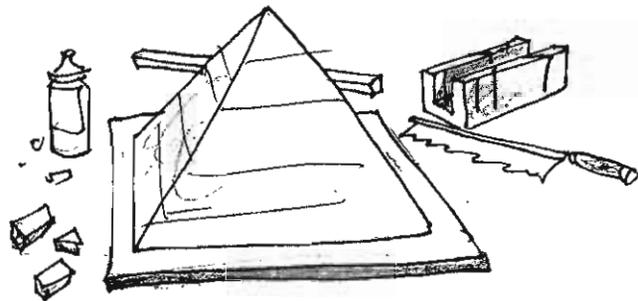


FLUAGE et SISMICITÉ

Bon, le problème crucial de l'élévation des charges et du rythme de leur montée semble avoir été maîtrisé. Mais avec tout cela, on fait quoi et comment ?



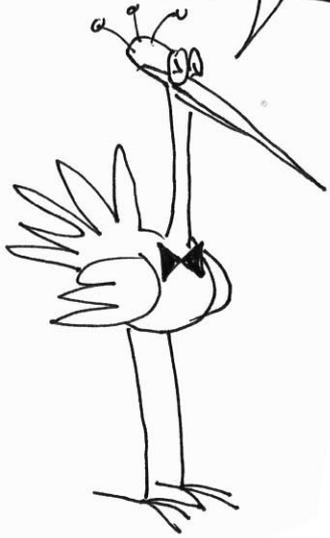
tu as déjà entendu parler de ces trucs dans ta loge ?



le concepteur d'une pyramide doit faire face à deux problèmes. Le premier relève de la **MÉCANIQUE DES SOLS** à travers le **FLUAGE**. Le second est la **SISMICITÉ**

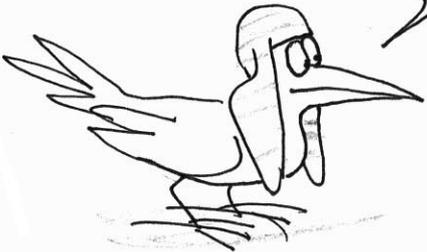
non...
pourtant on est
au plus haut degré
comprends pas...

la pyramide de Kheops ce sont 2.500.000 mètres cubes. Avec un volume moyen de bloc d'un mètre cube, cela représente deux millions cinq cent mille blocs, non ?



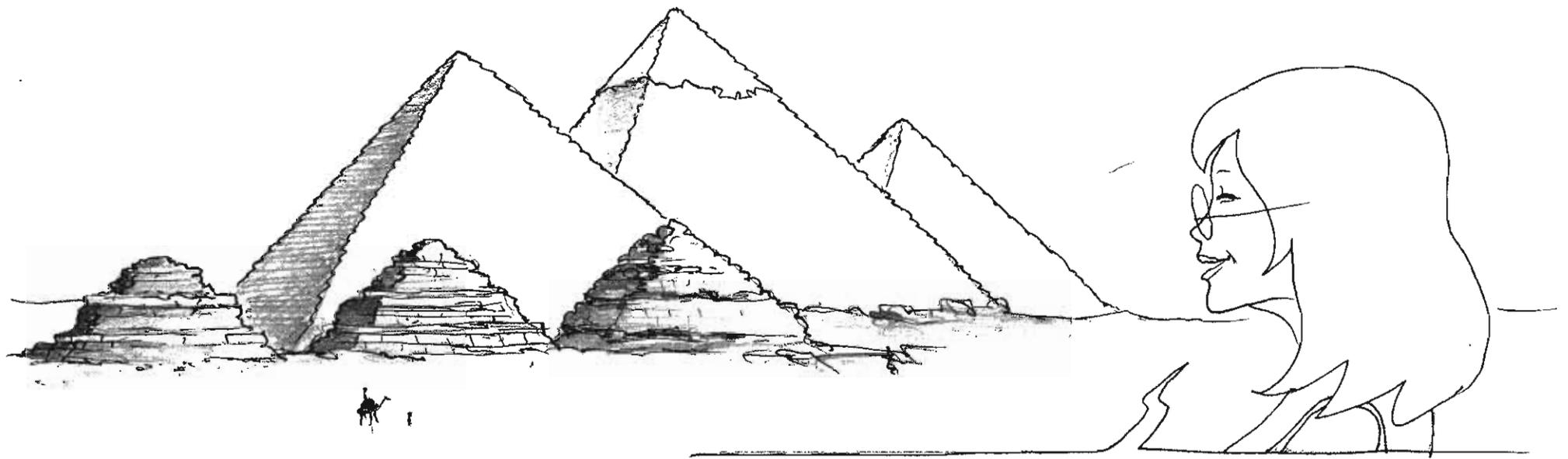
La découverte au XIX^e siècle des **TEXTES DES PYRAMIDES** donne à celles-ci et à leur **COMPLEXE FUNÉRAIRE** une nature de machineries métaphysiques, d'une thématique complexe. Cet aspect des choses a incité les égyptologues à tenter de décrypter les structures sous un angle **SYMBOLIQUE**. Ainsi la mention "d'un escalier permettant au pharaon de gagner le ciel" peut elle inciter à penser que cette idée à été à l'origine des **PYRAMIDES À DEGRÉS**

est ce que l'architecture des pyramides représente une traduction "en dur" d'une thématique religieuse

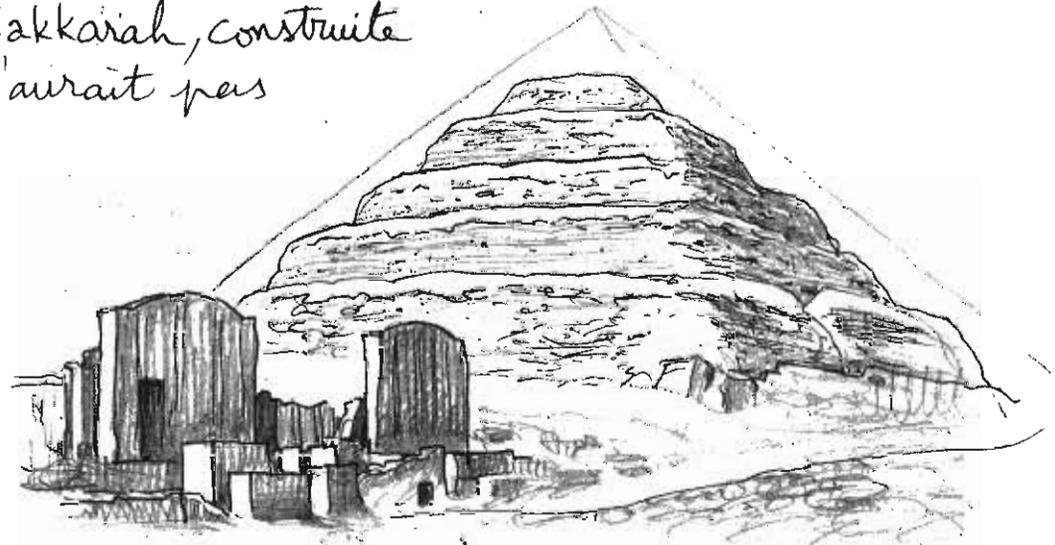


ou, à l'inverse, est ce que ces textes religieux ne représentent pas une forme d'encodage de solutions imposées par des impératifs techniques ?



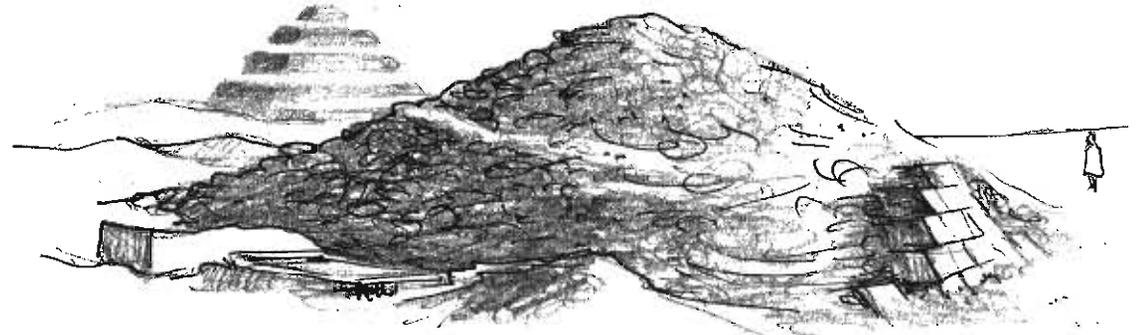
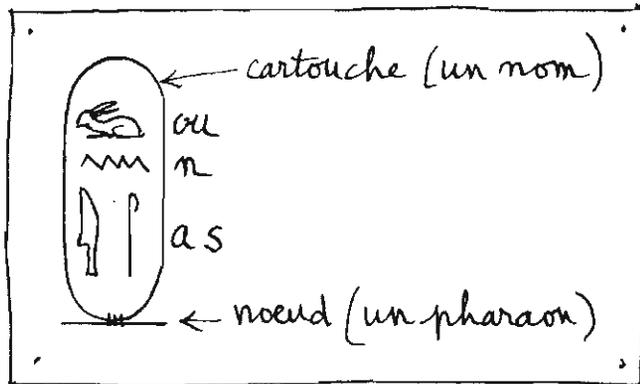


Les structures à degrés sont omniprésentes sous les pyramides, par exemple sur les trois pyramides satellites de celle de Mykerinos (visible sur l'arrière-plan). Il semble raisonnable de penser que de tels degrés pourraient exister également sur les surfaces actuelles des pyramides de Gizeh, moins dégradées du fait du pillage systématique pratiqué tout au long de l'histoire antique égyptienne. Au point qu'on pourrait se demander si la plus ancienne des pyramides, celle de Sakkarah, construite par **IMOTHEP** pour le pharaon **DJOZER** n'aurait pas été une **PYRAMIDE LISSE** victime du jeu de **PIQUE-CAILLOUX**, qui aurait fait apparaître ses degrés sous-jacents,



Sakkarah vers 2600 av. JC

sur la soixantaine de pyramides dénombrées en Egypte la plupart, si leurs structures souterraines peuvent être très riches, présentent un aspect extérieur très délabré, à cause du pillage de la pierre opérée dès l'époque pharaonique. Ci-après celle du pharaon Ounas (2320 av. J.C) dont l'intérieur (voir page 15) recèle le **TEXTE DES PYRAMIDES**.



Sakkarah = restes de la pyramide d'Ounas
Hauteur : 43m à l'origine. 11 mètres aujourd'hui

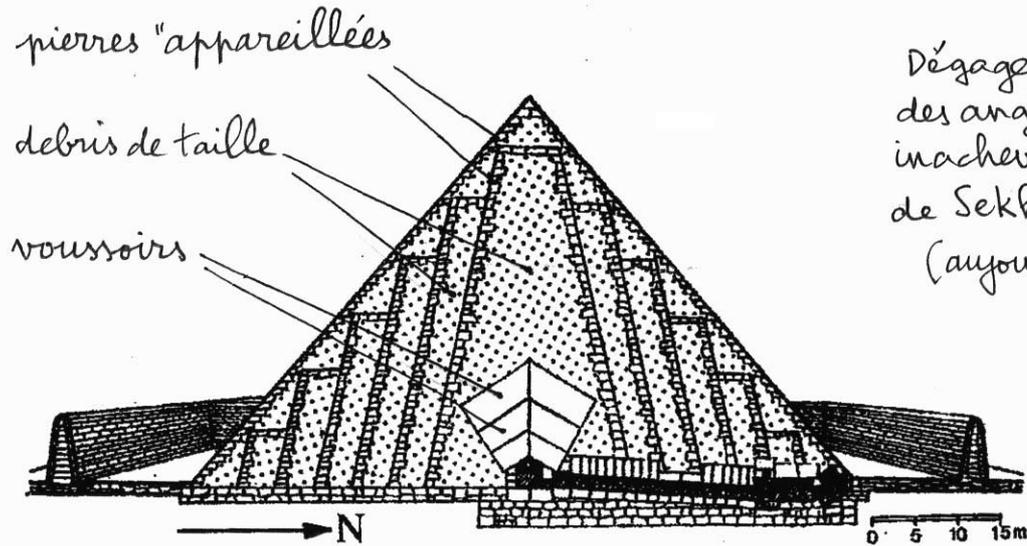
pourquoi est-ce que les pyramides de Giseh ont survécu à un tel pillage?



Le revêtement, en calcaire fin, a presque totalement disparu, à l'exception du haut de la pyramide de Kephren. Mais le reste, issu de carrières creusées sur le plateau, bourré de coquillages, était de très mauvaise qualité (*)

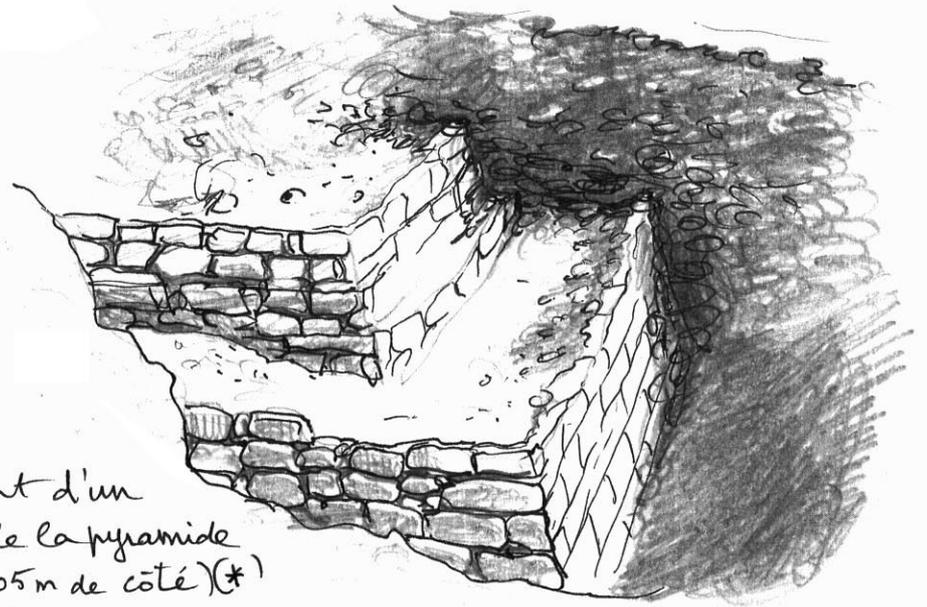
(*) Le calcaire est une roche sédimentaire

Le fait que certaines pyramides laissent apparaître leur structure interne indique qu'on mêlait des murs en dévers, en "pouppées russes", et des débris de taille ("libage"). Ceci amena vers 1900 certains égyptologues comme l'allemand Borchardt à envisager le schéma ci-dessous.



Coupe sur la pyramide de Sahourê (d'après Borchardt).

Avant dégradation : 4 m. Aujourd'hui 36 m

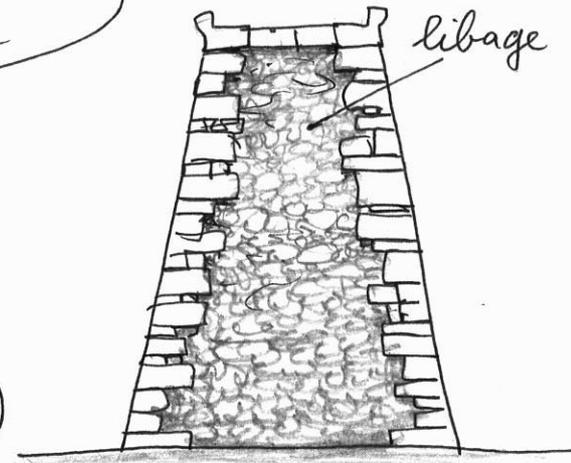


Dégagement d'un des angles de la pyramide inachevée (105 m de côté) (*) de Sekhemkhet, successeur de Djozer (aujourd'hui de nouveau recouverte par le sable)

avec le **DÉVERS** pour la stabilité

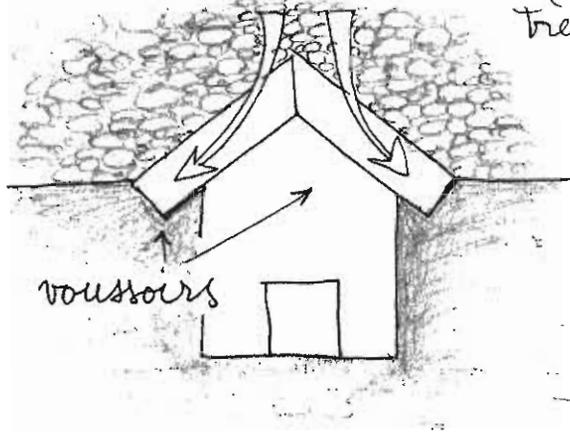


même réutilisation de ce "tout-venant" pour les pylônes des temples

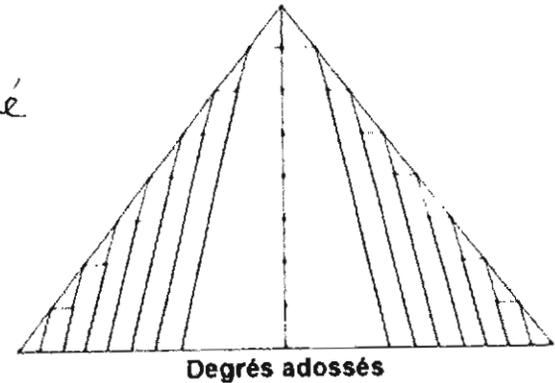


(*) même dimension que la pyramide de Djozer

comme dans la pyramide d'Ounas, le souhait de situer la chambre "sépulcrale" en dehors du niveau du sol, plus au cœur de la pyramide amène les concepteurs à recourir aux voussoirs pour redistribuer latéralement les énormes forces de compression créées par la masse située au dessus. Un système très efficace en cas de séisme et qui s'accommode très bien de la disposition "en bras" de ce qui est au dessus

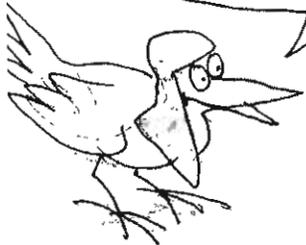


Mais le souhait de positionner la chambre plus haut a amené à envisager que celle-ci puisse reposer sur un pilier central, ceci conduisant au modèle des :



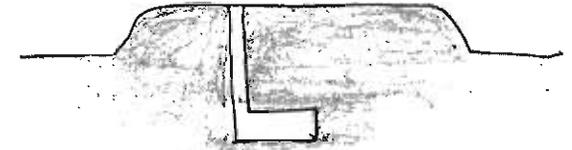
beaucoup de spécialistes et d'experts persistent à penser que les concepteurs des pyramides de l'Ancien Empire Egyptien (2700 à 2200 avant JC) procédaient par **EMPIRISME**. Résolus à créer des structures pérennes et conscients de l'importance majeure de la **SISMICITÉ**, ils savaient au contraire très bien où ils allaient, mettant en jeu des solutions aussi sophistiquées qu'originales et ingénieuses, sur tous les plans.

mais aucun n'avait sans doute prévu que la survie d'une pyramide reposait essentiellement sur le choix d'une pierre de qualité très médiocre

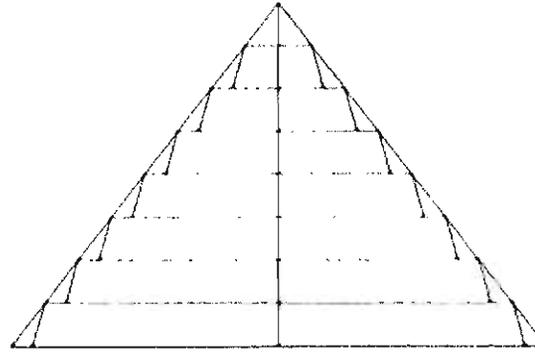


Mais l'idée de Borchardt me fit pas souche
 et avec le temps, sans guère de justifications
 et en contradiction avec les observations
 faites sur le terrain s'installa le
 paradigme selon lequel les pyramides
 à degrés, s'inspirant des mastabas
 qui lui étaient antérieurs, étaient des

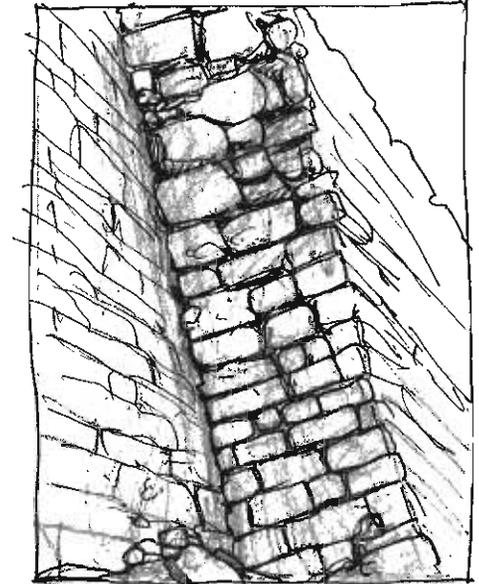
EMPILEMENTS DE MASTABAS



mastaba



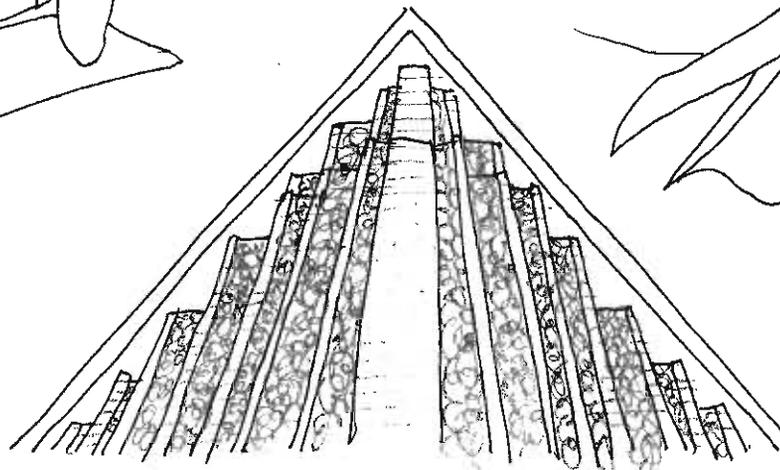
Degrés superposés



couche en accretion
 avec fort dévers
 Pyramide de Djezer



deux millions cinq
 cent mille blocs pour
 Khéops? Je peux beaucoup
 réduire cela en utilisant
 les débris de taille (*)



reprenons l'idée
 de Borchardt avec
 une **CHARPENTE EN
 PIERRE** plus un
 remplissage par du
 libage

ça colle avec ce que j'ai vu dans mon rêve (page 48)
ces carrés concentriques sont faits de pierres provenant des
carrières de Giseh, dont les faces horizontales sont totalement
jointives, ce qui permet, par la forte friction, de contrer la
tendance de la masse à s'étaler - Il suffit de décaler les
pierres vers l'axe à chaque nouveau lit

mais ton libage
va se tasser. Cane
sera pas stable!

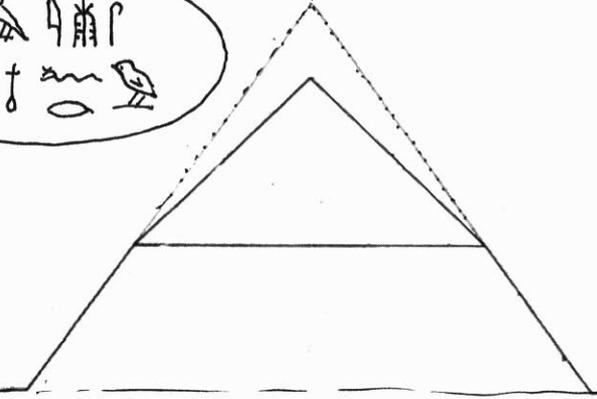
pas si on coule au fur et à mesure du **PLÂTRE**
pour combler les vides et rendre ce milieu
inhomogène **INCOMPRESSIBLE**

ça me fait penser à une chose. On considère, classiquement que la pyramide Rhomboïdale aurait été au départ prévue pour avoir une pente de plus de cinquante degrés. Mais cette structure se serait révélée instable

les prêtres-architectes auraient décidé de réduire cette pente à 43° , d'où cette forme géométrique particulière

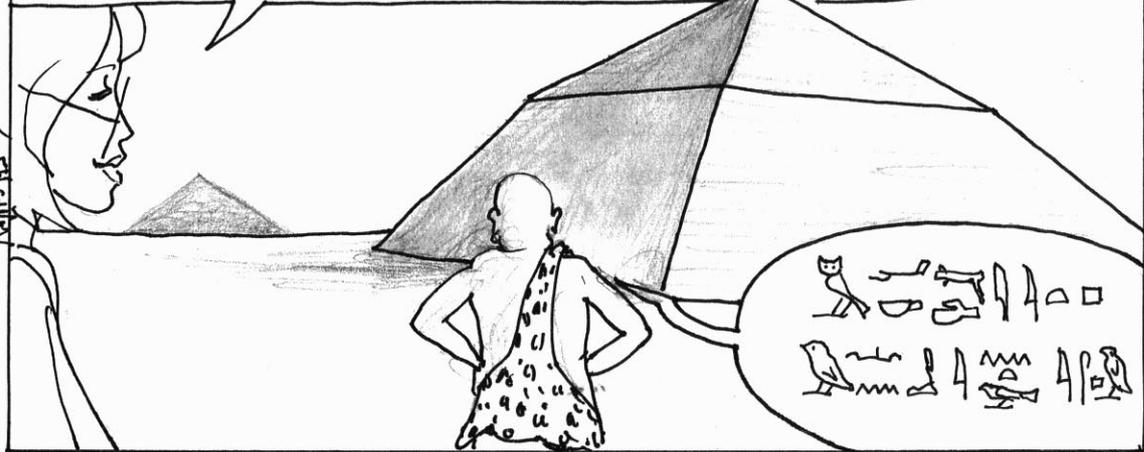


CRAAAK



Mais une autre idée consiste à imaginer que cette pyramide, terminée, aurait été l'objet d'un début de pillage affectant ses premières assises

et sa forme actuelle résulterait d'une réparation en plaquant sur l'assise oblique apparente des pierres de parement



Sans ce déshabillage suivi d'une réparation elle aurait la copie de la pyramide rouge (à l'arrière plan)

87 bis

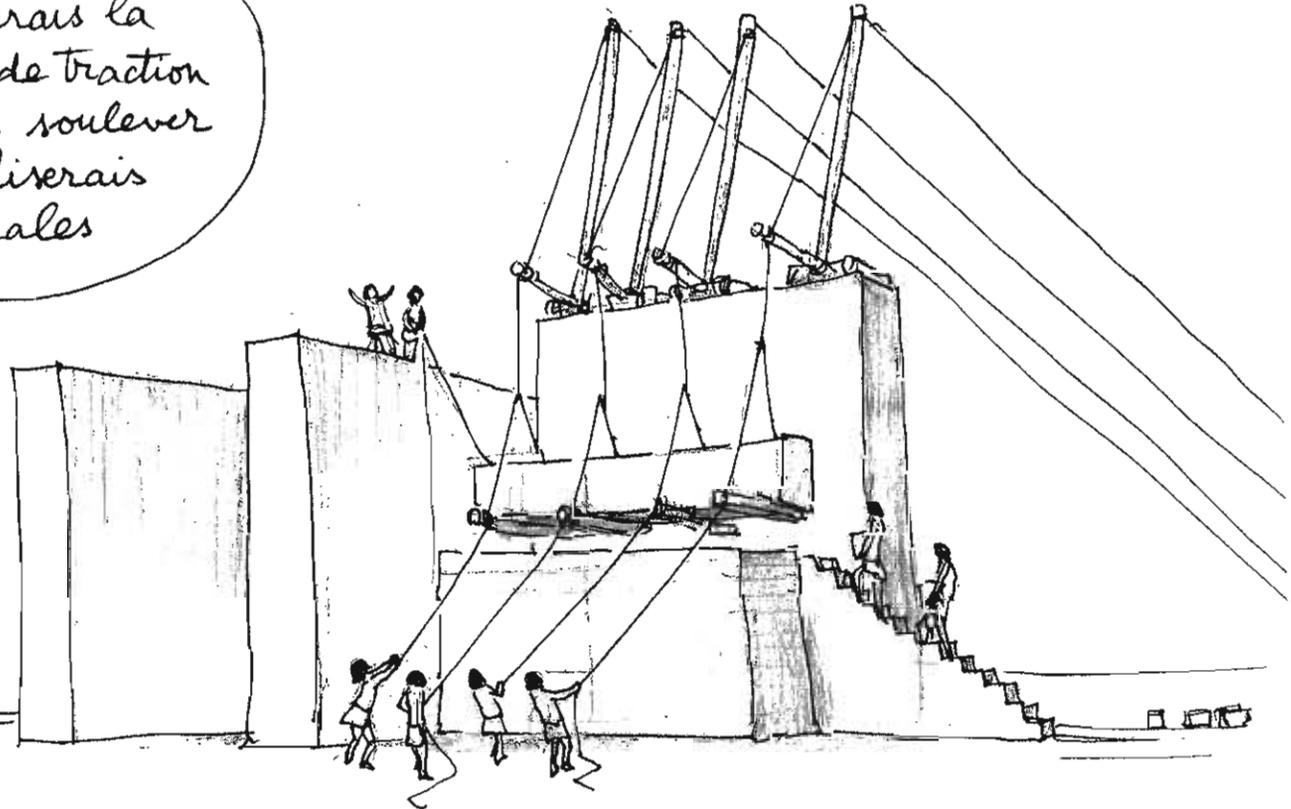
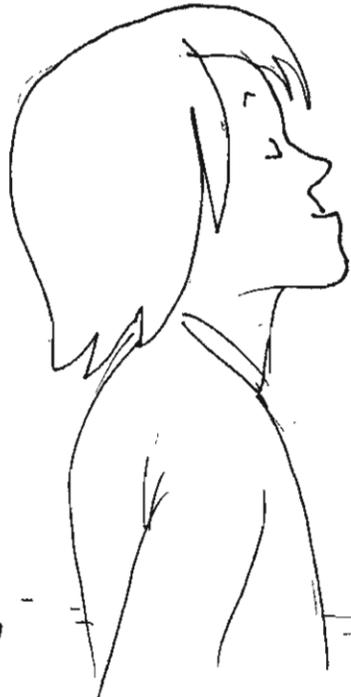
ce qui est possible
nous le faisons de suite.
Pour l'impossible, nous
demandons un délai



monter des
monolithes n'est
pas tout. Comment
les manipulerai-tu
s'avanturier de
mon cœur?

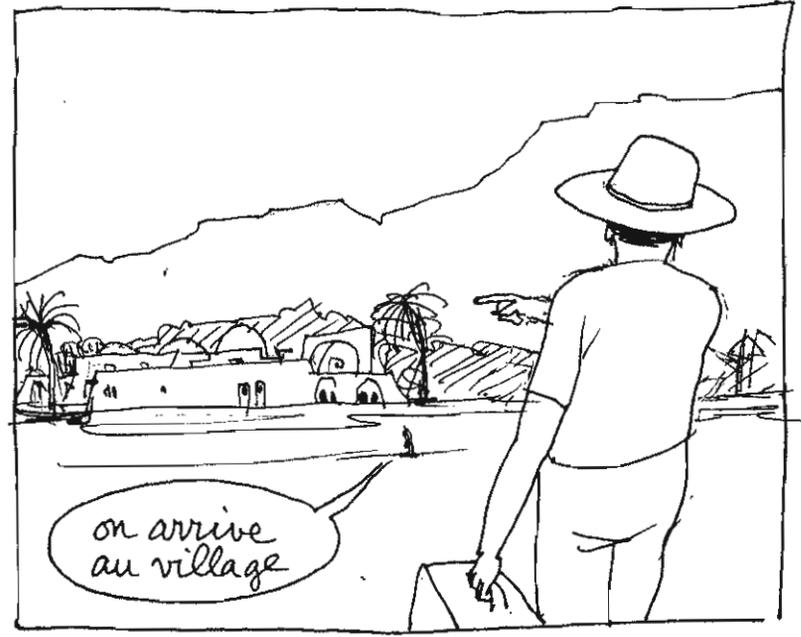
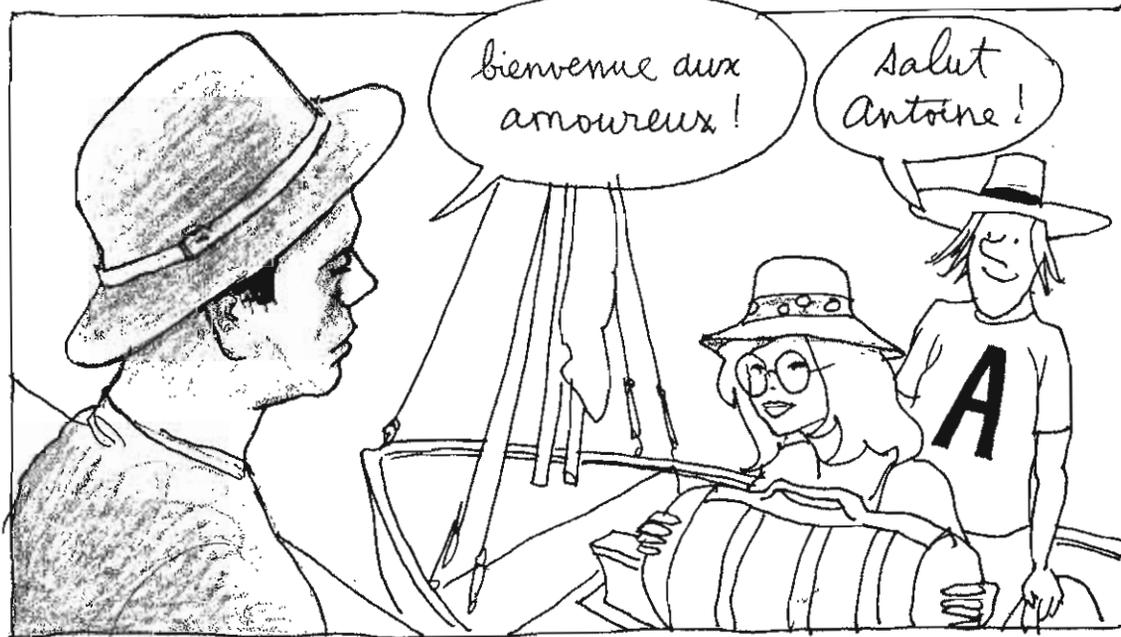
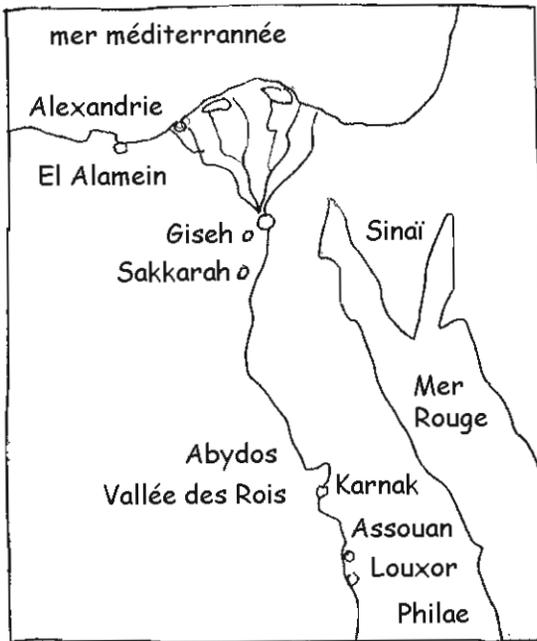


j'utiliserais la
machine de traction
pour les soulever
et j'utiliserais
des cales





il y a longtemps qu'il nous invite à Louxor. Ok, on fait les valises et on y va





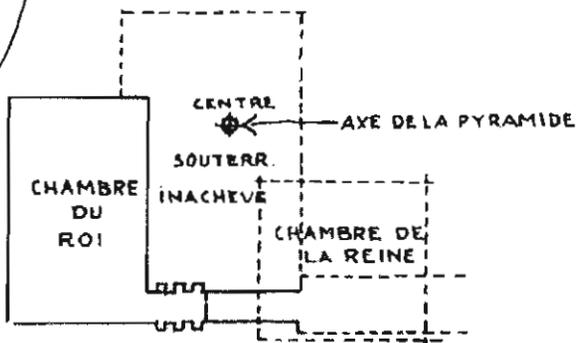
L'objet décrit par Anselme, dans sa machine, et qui évite l'usure des cordes, existe. Fait de basalte, il a été découvert en 1932 à Giseh, près des ruines de la pyramide de la Reine Khenkaoues, par Selim Hassan.



J'ai regardé les notes que vous m'avez envoyées

on a vérifié. Sauf quand les chambres sont souterraines, dans toutes les pyramides celles-ci sont toujours en dehors de l'axe

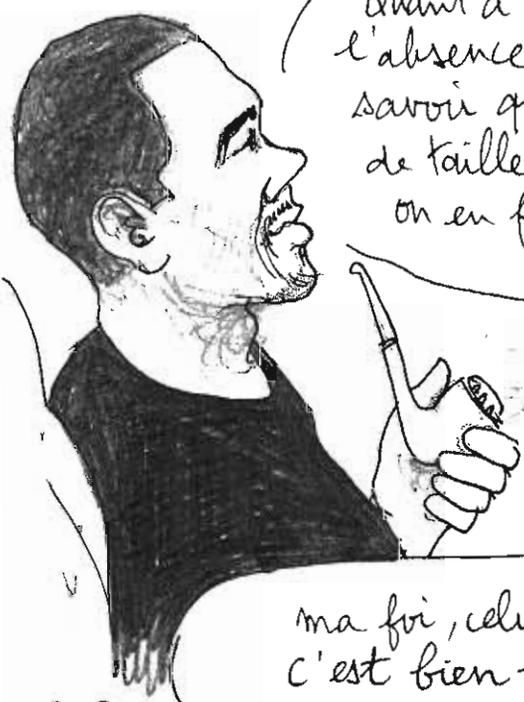
la rampe en pierre: pas bête. Et vous reprenez l'idée d'un pilier central. Mais comment faites vous pour loger les chambres de la pyramide de Kheops?



Kheops



les blocs triangulaires? Moi je les vois plutôt comme des résidus de sciages effectués par les pilliers, au sol. Mais c'est une opinion. Il serait plus simple d'envisager un ravalement à perte, en haut. Quant aux "blocs en retrait", j'opte pour une dégratation. La pierre n'est pas aussi stable et aussi homogène que vous l'imaginez. Des blocs déjà découpés, oui, mais avec des bossages à faire disparaître lors de la finition

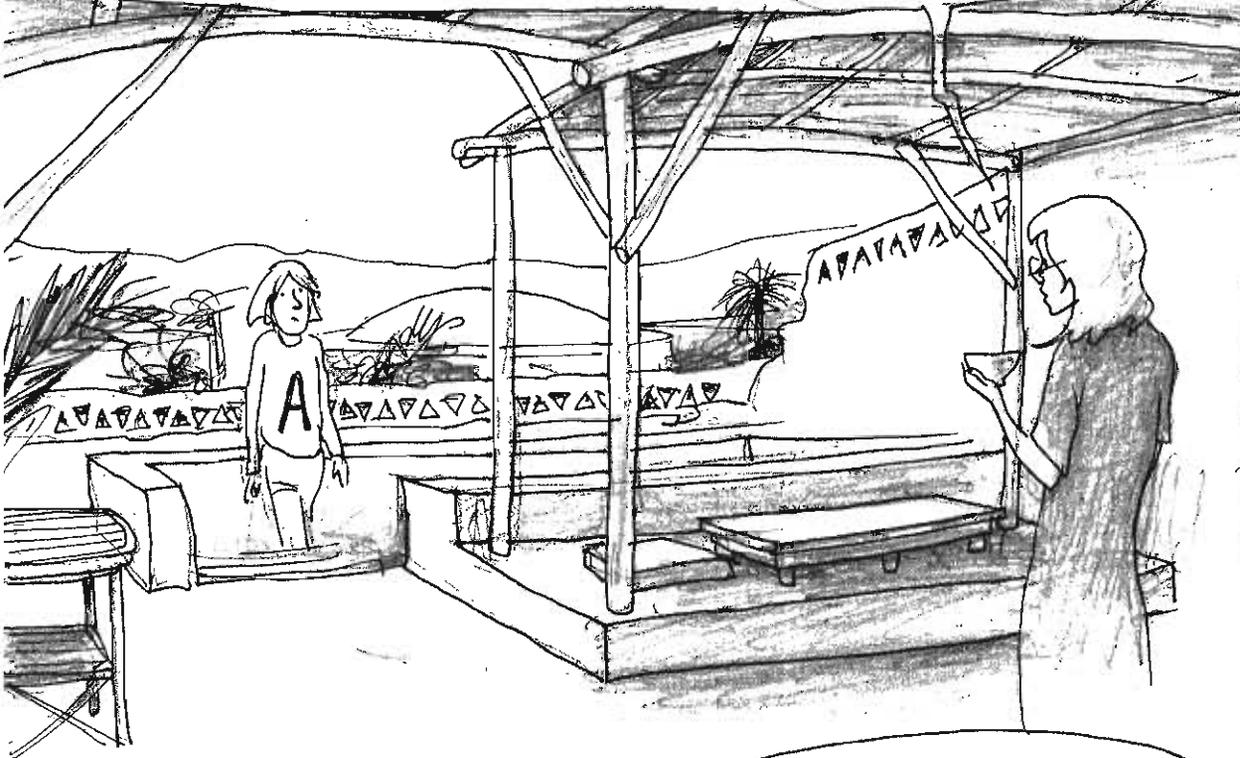


Quant à des arguments fondés sur l'absence de briques crues, il faut savoir qu'à la différence des déchets de taille c'est un matériau réutilisable on en fait l'expérience ici, à Karnak

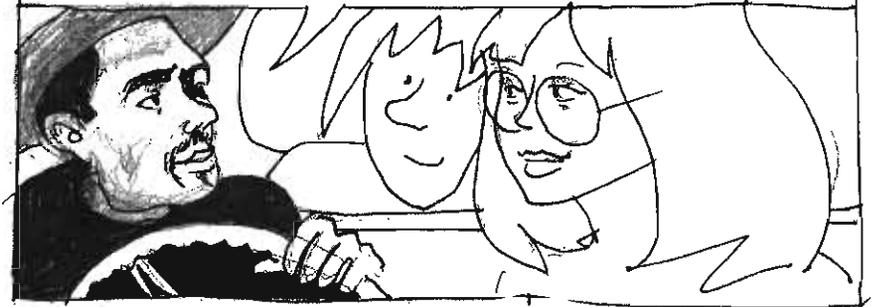


ma foi, celui qui connaît la pierre, c'est toi c'est bien pour ça qu'on est venu te voir

Antoine nous amène demain à son chantier
Il dit qu'il a un truc sympa à nous montrer



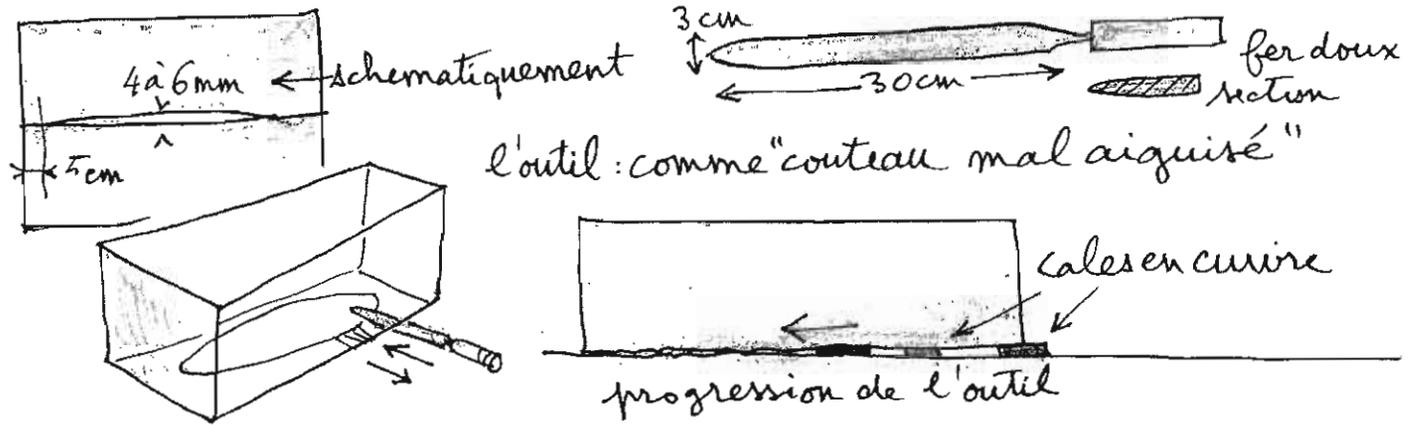
A propos du sciage des joints (page 57)
l'idée est ancienne, mentionnée dès
le XIX^e siècle par Petrie et Choisy.
Pour en savoir plus j'ai voulu faire
l'expérience avec des blocs de grès



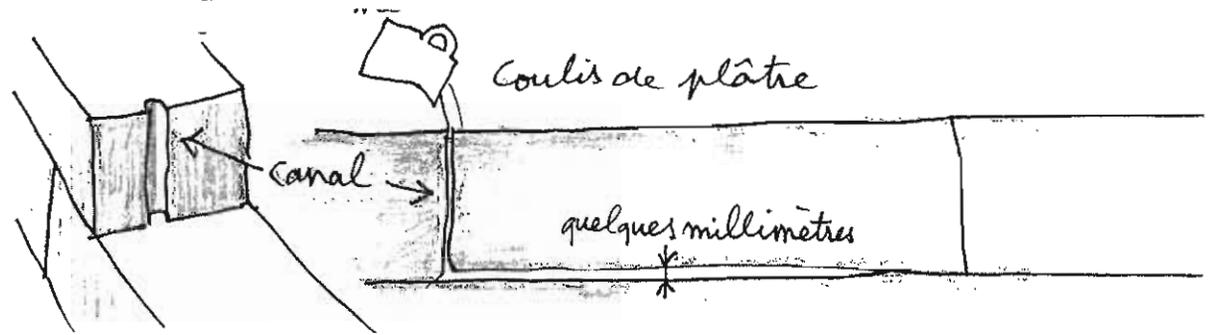
Le grès est une roche qui
résulte de l'agglomération
de 80% de grains de silice
avec du ciment calcaire.
Elle contient donc son
propre abrasif



A toutes les époques, y compris à l'Ancien Empire, on constate que les pierres de toutes tailles sont jointes si étroitement qu'on ne saurait glisser une lame de rasoir dans les joints. De plus ces joints sont sinueux. Depuis le XIX^e siècle des égyptologues ont avancé que ces joints auraient été "travaillés". Antoine a concentré son attention sur des édifices relativement récents (époque Ptolemaïque*), en grès. L'examen a mis en évidence des traces d'outil (scié à joints). Les pierres en regard n'étaient pas travaillées sur toute leur surface de contact mais seulement sur leur pourtour, si 3 à 5 cm de profondeur. Le reste de la face était "démaigrée". On crée sur les deux faces en regard des concavités de 3 à 4 mm. Le sciage du joint est alors entrepris. Dans le grès les particules de silice se détachent et fournissent l'abrasion souhaitée. L'outil progresse de 4 cm par minute. On dispose des cales en cuivre au fur et à mesure.



Quand le tour est fait, on enlève les cales et le jointolement est alors parfait. Par un canal creé à cet effet on coule alors du plâtre dans l'espace interstitiel. Le contact entre les deux blocs est à la fois intime et total sur toute leur surface.

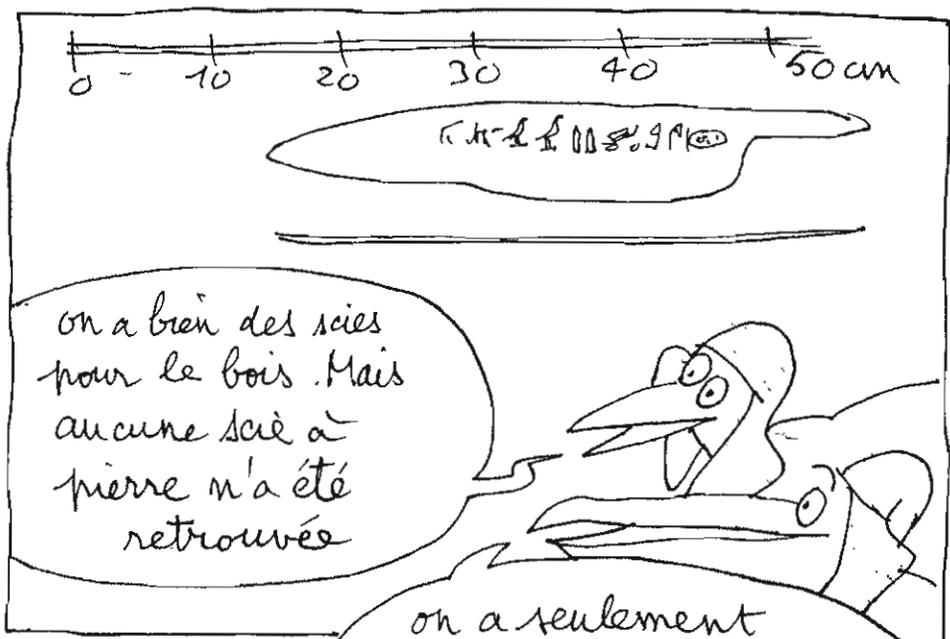


Une sinuosité finale de quelques millimètres suffit à garantir le calage des blocs
 (*) 300 avant JC jusqu'à 30 avant JC



je vois que tu as utilisé du fer doux

l'idée était de reconstituer ce qui se faisait à cette époque-là



on a bien des scies pour le bois. Mais aucune scie à pierre n'a été retrouvée



on a seulement une demi-douzaine de simulacres en cuivre mou, trouvés dans les tombes



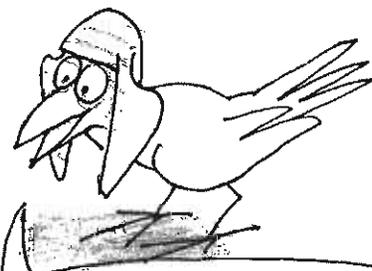
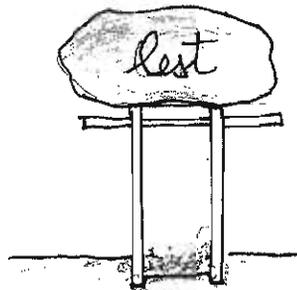
il n'y a pas que le cuivre mou parce qu'il est pur. Les métaux purs ont toujours des qualités mécaniques plus faibles que celles de leurs alliages. Les Egyptiens avaient du cuivre à l'arsenic, dont les qualités mécaniques sont proches de celles du bronze

des scies munies de dents faites de ce cuivre peuvent être utilisées pour couper des pierres considérées comme tendres, dont le calcaire

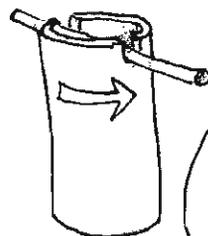




pour les pierres dures comme le granit on a des scies sans dents, dont le cuivre entraîne une poudre abrasive



on sait que les Egyptiens creusaient les trous des gonds avec des tubes de cuivre et de l'abrasif



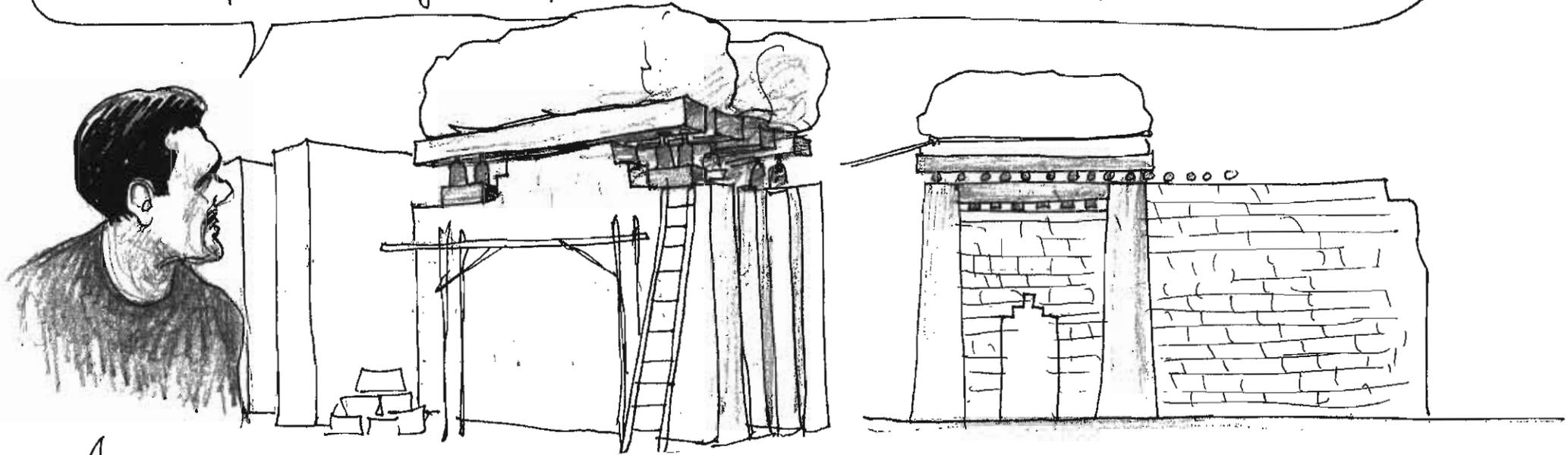
ce tube, c'est une scie enroulée

je vais vous montrer un petit truc sympa. Vous savez qu'à Karnak nous passons notre temps depuis longtemps à remonter des tas de trucs. Vous voyez ces blocs qui forment le plafond de cette chapelle de Toutmouisi III, pharaon vers 1450 av. J.C. Ils pèsent chacun soixante douze tonnes. Eh bien, on les a remontés

avec une gouge ?



Notre grue, à Karnak, a une capacité de levage maximale de 23 tonnes.
Mais j'aime bien les défis. J'ai voulu savoir si je pouvais négocier cela avec
de simples vérins hydrauliques, des poutres en bois et des pierres



On a fait jouer l'alternance de soulèvements par des crics hydrauliques,
l'usage de cales en bois et l'accompagnement en repose sur un mur de
pierre, monté au fur et à mesure. Quand le bloc a été à 4,25 mètre on l'a fait glisser
sur des rouleaux. Puis, toujours à l'aide des vérins on l'a redescendu sur ses assises
et au final on a démonté toute la maçonnerie d'appoint



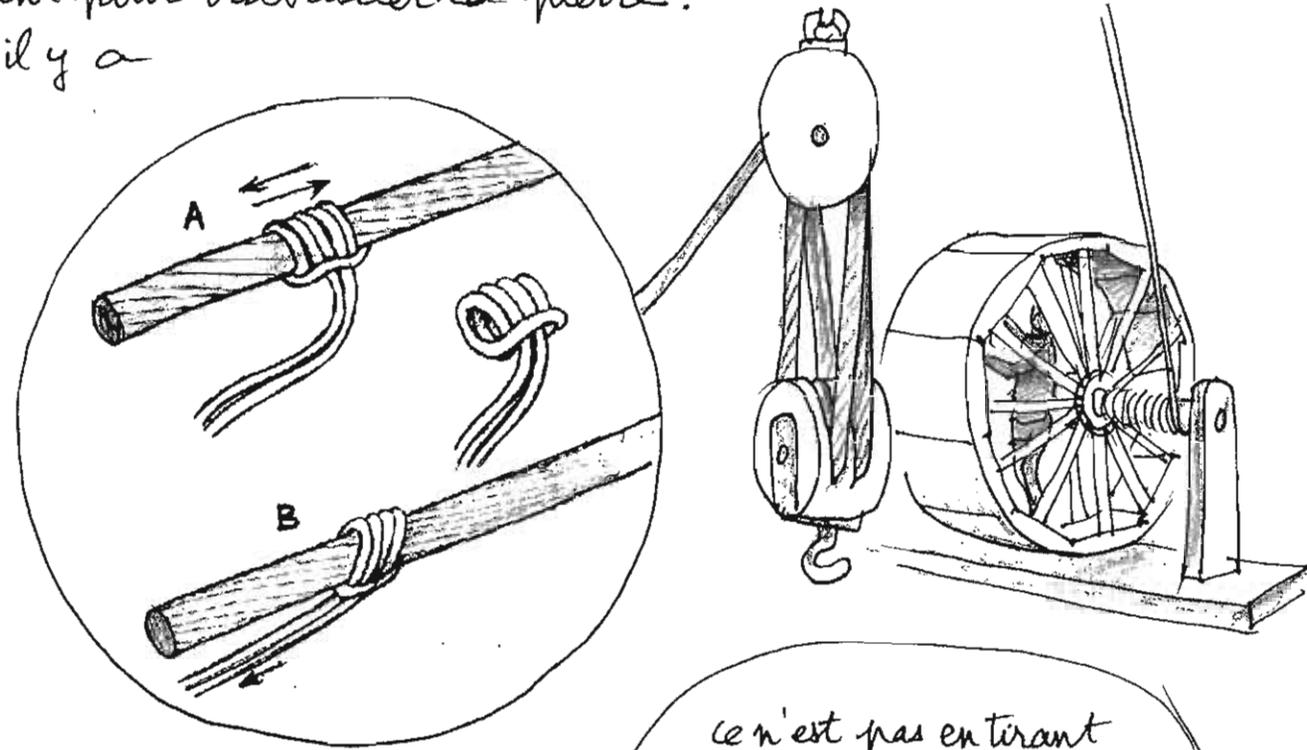
fort bien, mais
Toutmosis III a fait
pareil sans vérins
hydrauliques!



Hmm... rampe en
brique crue, des cordes
et du monde!

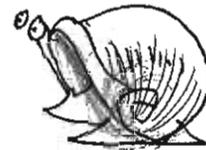
Les Grecs et les Romains avaient toutes sortes de machines. On attribue l'invention du moufle à Archimède. Que sait-on des machines des anciens égyptiens ? On n'a conservé que de rares spécimens des outils qu'ils utilisaient pour travailler la pierre.

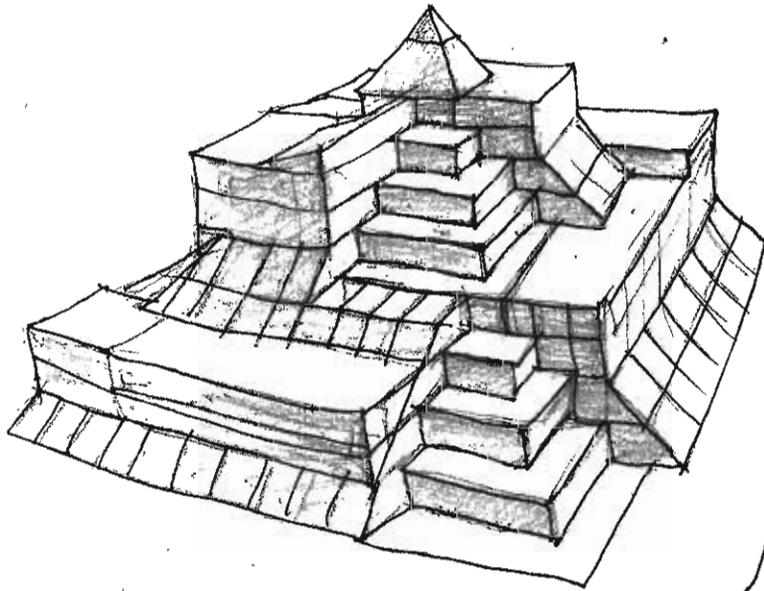
Finalement, pour des charges lourdes il y a deux solutions : agir en continu en démultipliant la force, ou par séquences, comme l'a fait Antoine. Faut-il un métal solide pour faire des axes le système des cordes avec nœuds auto-bloquants s'impose logiquement



c'est ce qu'utilisent les alpinistes

ce n'est pas en tirant qu'on peut faire glisser ces nœuds : la corde casse avant

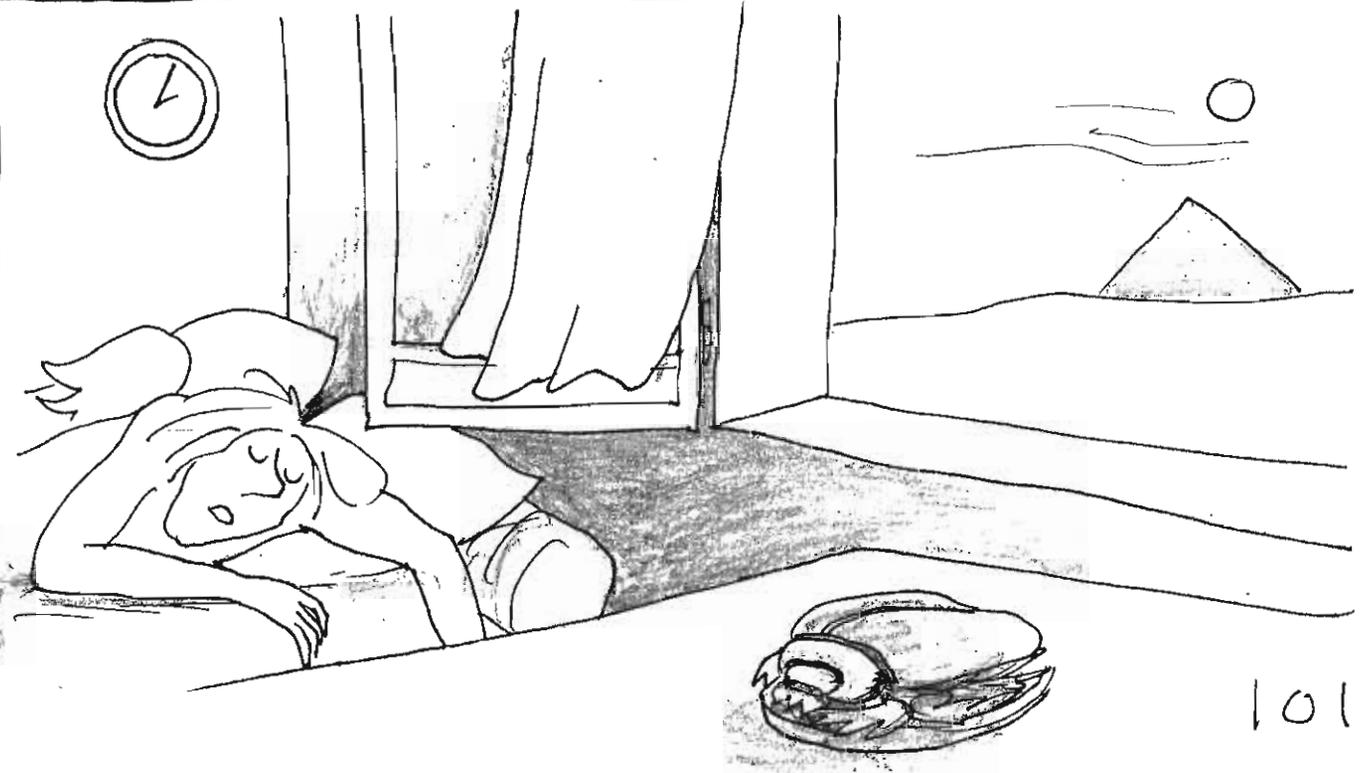


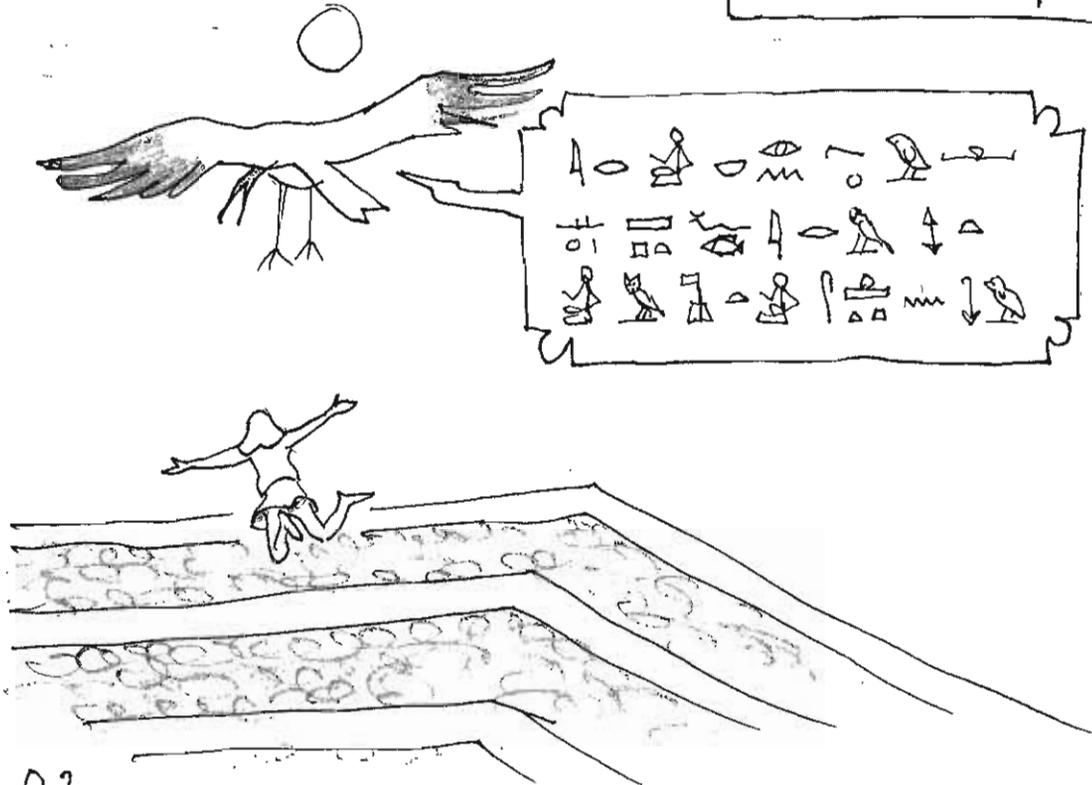


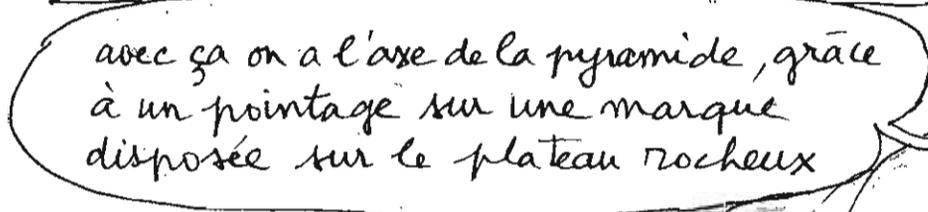
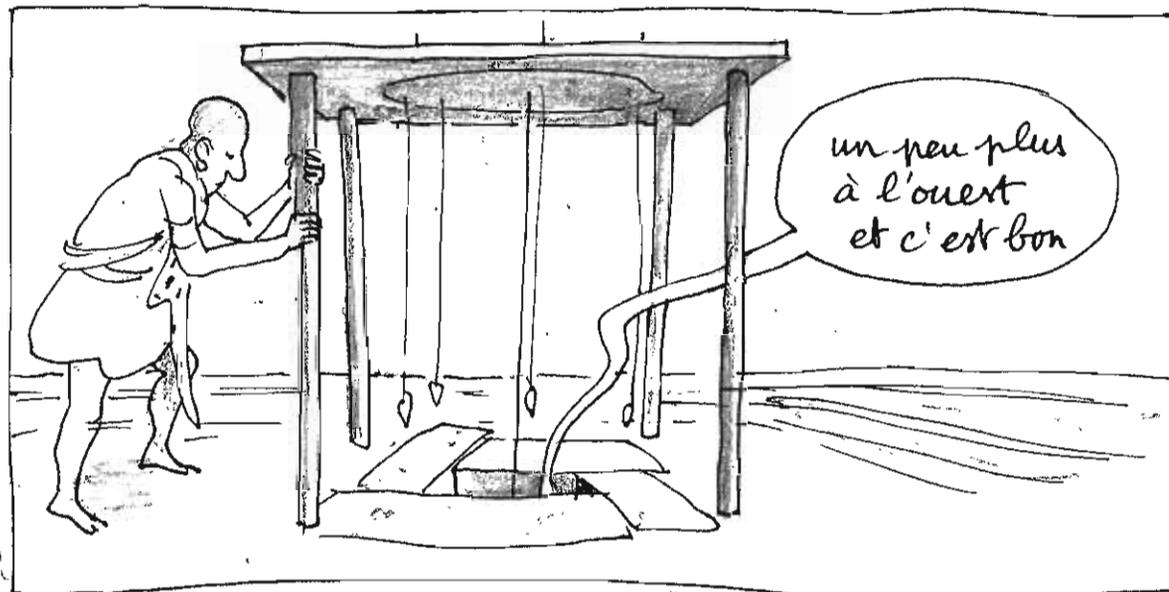
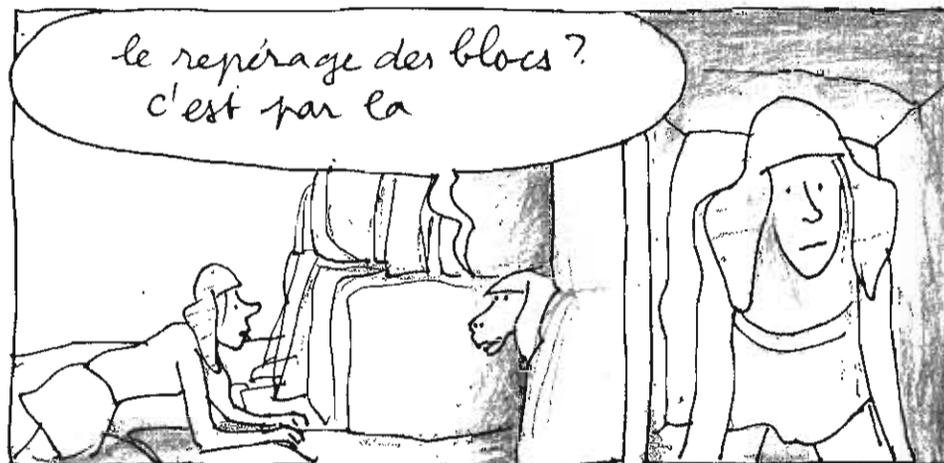
voilà votre modèle est sympa.
ça fait un très joli puzzle.
Mais il manque quelque chose.

les pierres des pyramides sont
loin d'être aussi régulières. les assises successives ont des hauteurs
qui peuvent varier dans un facteur de un à trois. cela dépend
de l'épaisseur du filon d'où elles sont extraites. Il vous faut un
système précis de repérage des positions des blocs.



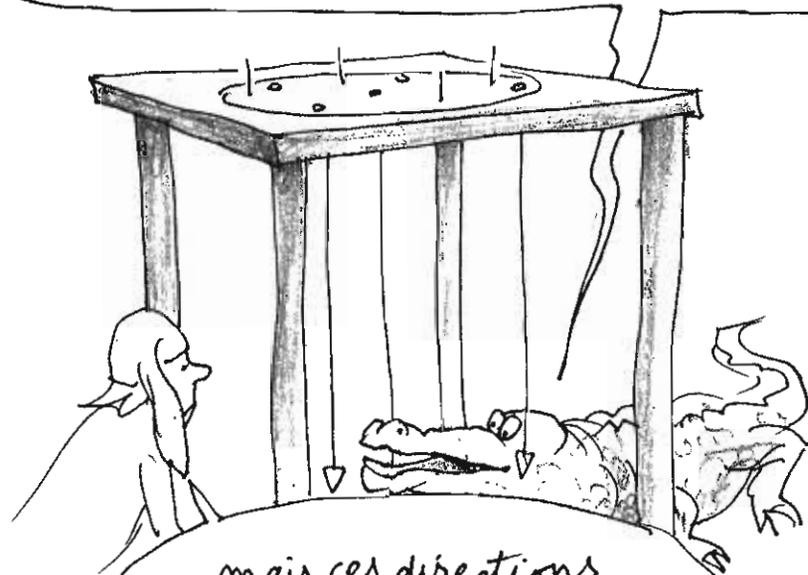






(*) le recours à un tel système de repérage (fil à plomb + table d'orientation)
a été conjecturé par l'égyptologue Georges Goyon

on se sert ensuite de fils lestés, solidaires de la table rotative, qui sont disposés de telle façon que, pris deux à deux, ils pointent avec une très grande précision en direction des quatre points cardinaux N-S-E-O



mais ces directions de pointage ne passent pas par l'axe de la pyramide !?

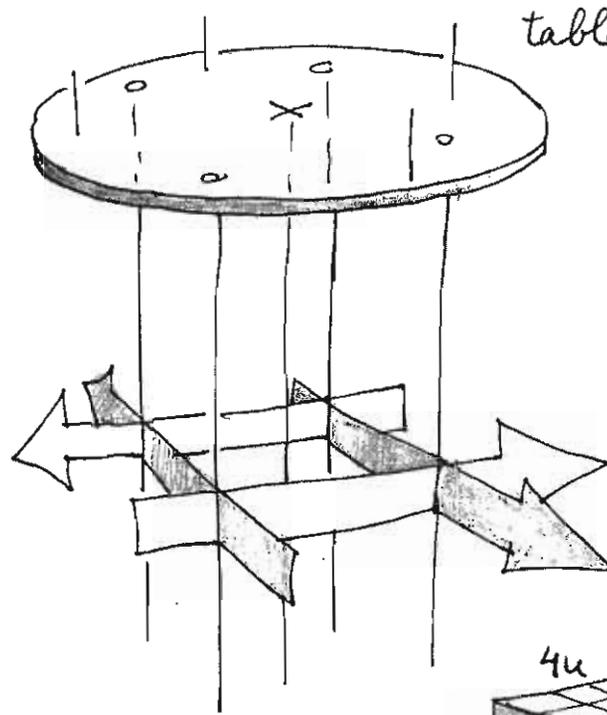
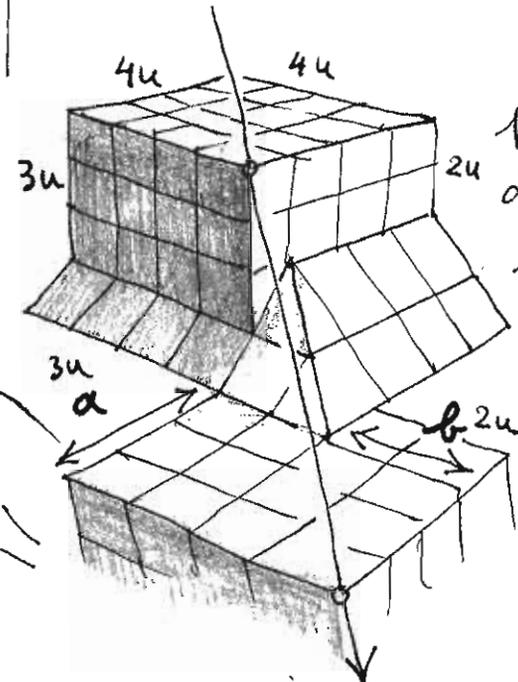
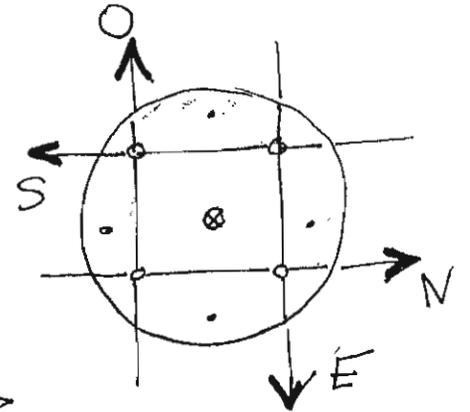


table de visée rotative



pièces d'angle successives

même si les assises présentent une certaine irrégularité, si les blocs d'angles sont positionnés régulièrement, alors un repérage devient possible, si on peut situer avec précision la position des coins des bloc dans l'espace

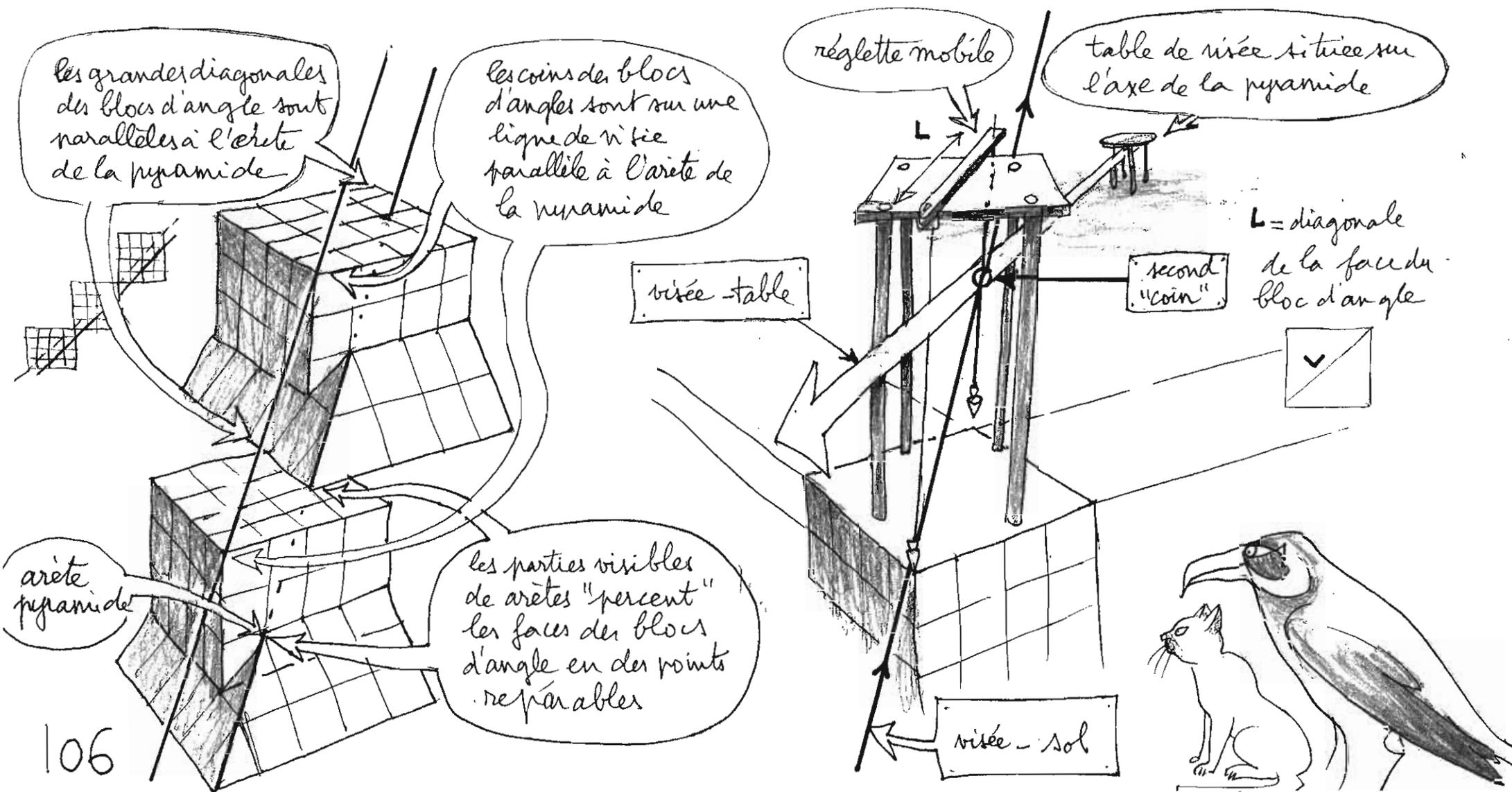
effectivement, si on connaît avec précision la position du coin de la plate forme on peut s'en servir pour positionner l'arête, de proche en proche

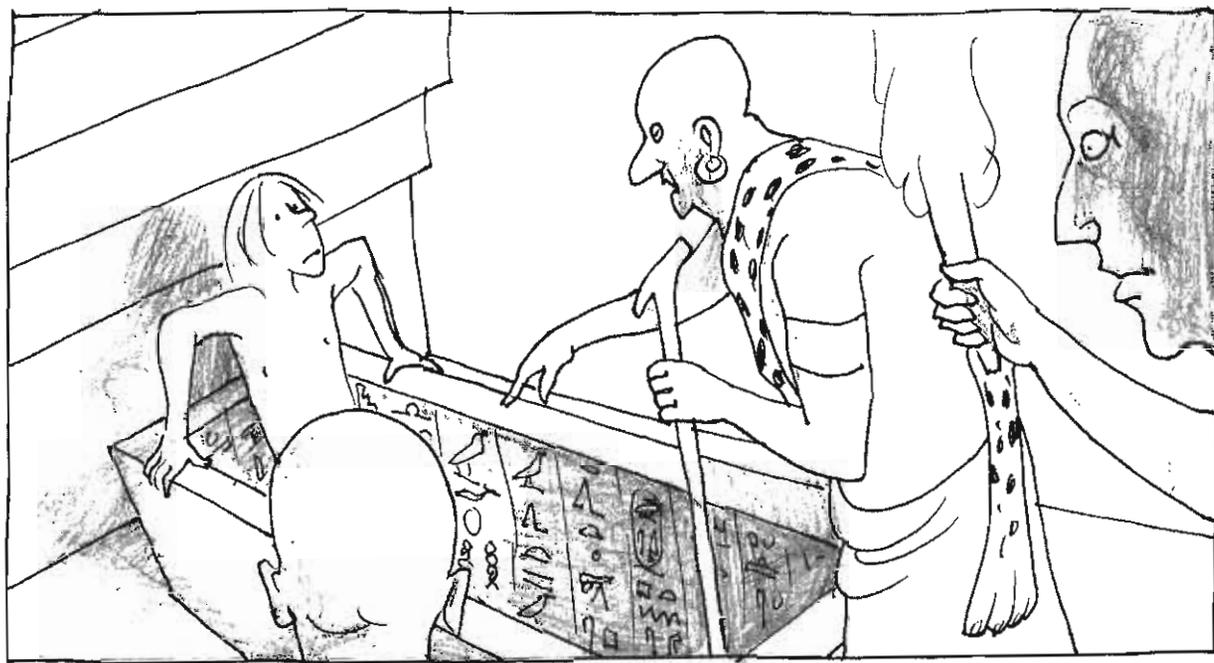
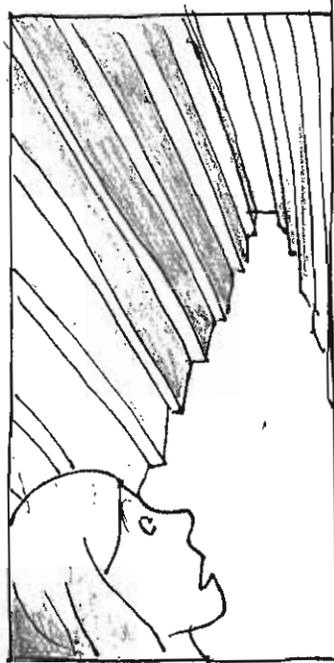
l'intérêt est qu'au fur et à mesure de la construction on peut situer ces coins avec une précision centimétrique par rapport au sol et non les uns par rapport aux autres sinon les erreurs finiraient par s'accumuler

la direction de visée passe par les coins des plate formes successives

cela donne UNE direction de pointage mais il en faut d'autres

Un telle table de visée permet de situer avec une très bonne précision n'importe quel point censé appartenir au plan contenant les coins des blocs d'angles, si ceux-ci sont alignés et équidistants. Les diagonales des faces supérieures des blocs d'angle sont parallèles à la projection des arêtes sur les faces et les grandes diagonales des parallélépipèdes - bloc d'angles sont parallèles aux arêtes de la pyramide





si tu veux vivre
il te faut mourir



nous reviendrons
dans vingt quatre
babouins



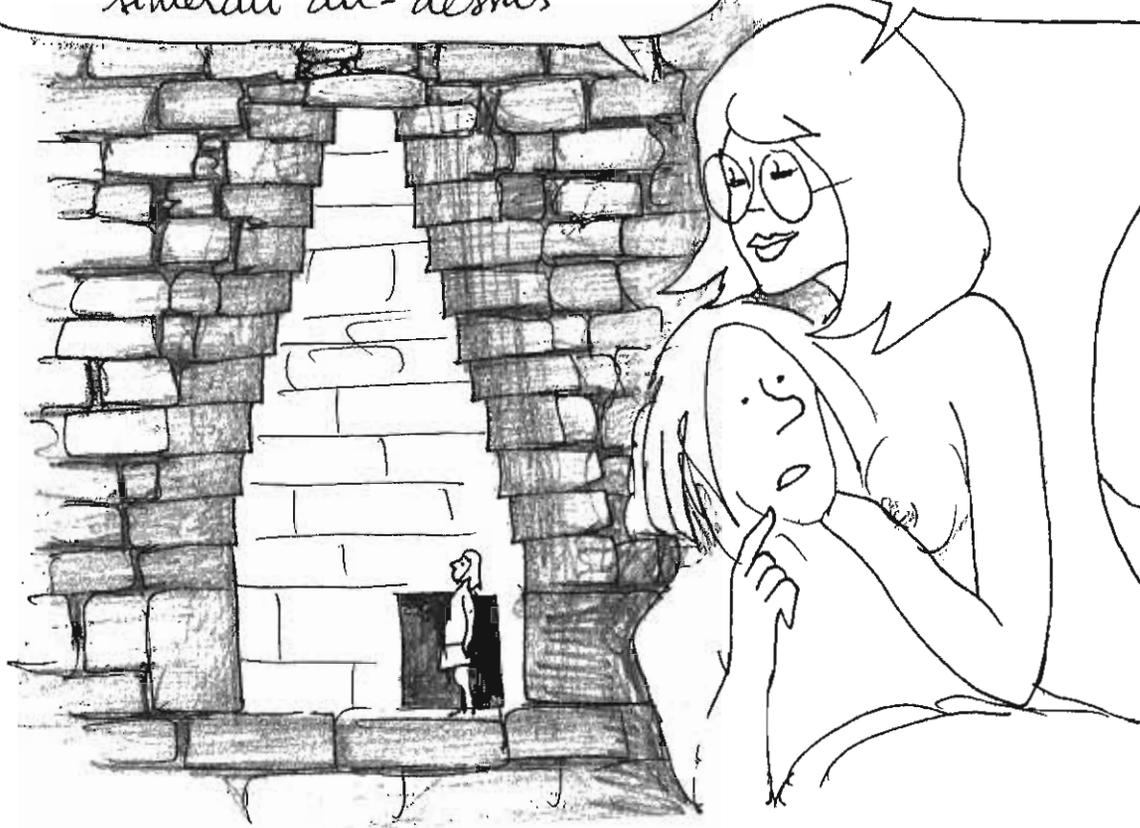
anselme, qu'est-ce qui se
passe? D'abord, tu parles
tout seul. Puis, tu n'arrêtes
pas de crier "Combien
valent 24 babouins!"

Hi Hi

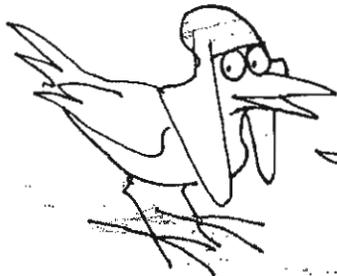
Je vais tout te raconter

Tu dis que le plafond était en "V" inversé, avec des décrochements. Ça s'appelle des **ENCORBELLEMENTS** qui permettent d'encaisser une forte masse de pierre qui se situerait au-dessus

d'après ce que tu racontes cela pourrait se situer à Dashour, soit dans la pyramide rouge, soit dans celle de Meidoum

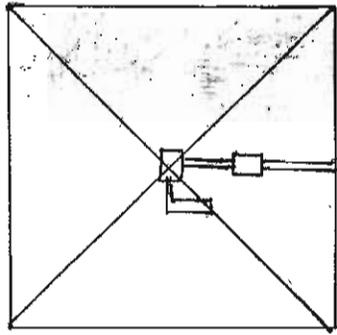


tu dis qu'on te mettait dans un sarcophage en pierre pour que tu y restes pendant...vingt quatre babouins

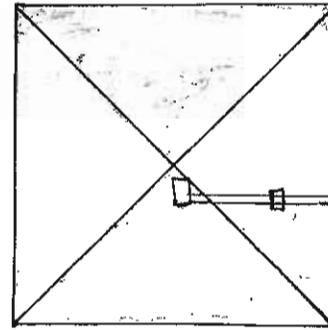


En dépit de la présence de sarcophages dans les pyramides certains doutent qu'elles puissent être des tombes, vu qu'on n'a jamais trouvé des restes qui puissent le prouver. Le rêve d'Anselme pourrait signifier que c'étaient des **LIEUX D'INITIATION**

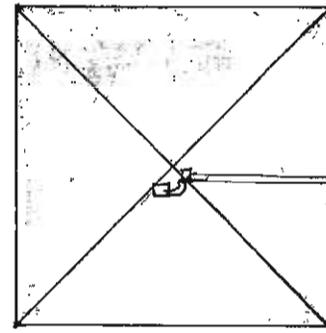
Tu sais, Sophie, je repense à deux choses. Primo, s'il y a un puits axial dans les pyramides, cela pourrait expliquer pourquoi les chambres, quand elles ne sont pas souterraines, sont toutes en dehors de l'axe



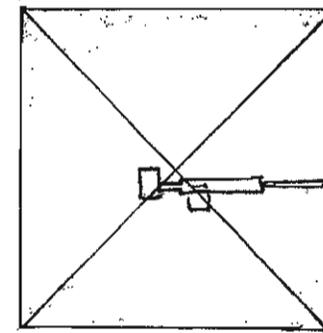
Mykerinos



Kephren

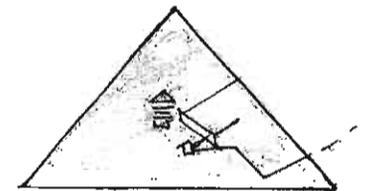
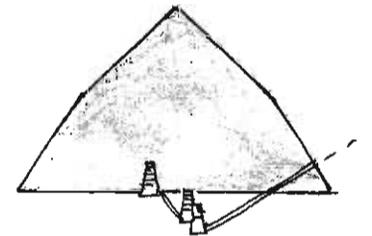
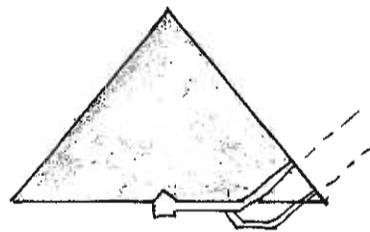
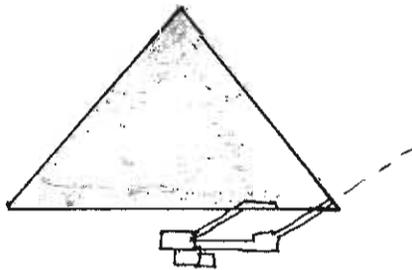


Rhomboidale



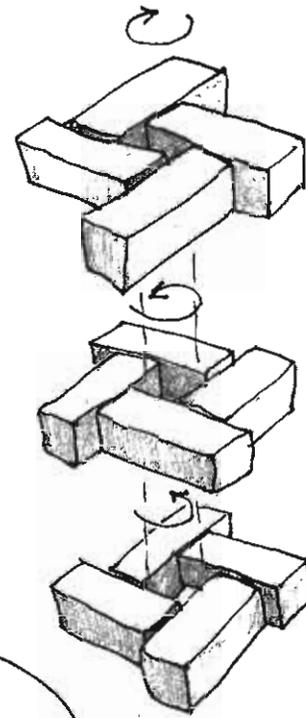
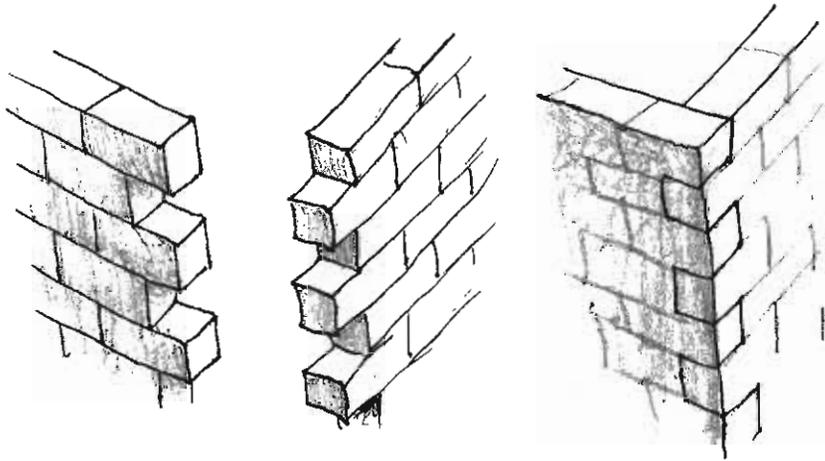
Khéops

etc...



(toutes les "descenderies, et les "canaux d'aération" sont orientés à peu de chose près selon la même direction et le même angle, ce qui est commode pour pouvoir s'éclairer avec des miroirs)

dans l'angle d'un mur on croise les pierres pour accroître la solidité



Pour garantir la solidité du puits et éviter qu'il puisse être obturé, rendu inutilisable en cas de séisme, ce qui serait catastrophique, les pierres devraient être agencées comme ceci.



alors, que signifie cet agencement de pierres au sommet de la pyramide de Kheops (*)

(*) des vues prises avec un drone seraient bienvenues

tout cela semble répondre à la critique d'Antoine, concernant le repérage centimétrique des blocs. Ça implique un accès par le bas sinon celui qui assure le positionnement du fil à plomb manquerait vite d'oxygène

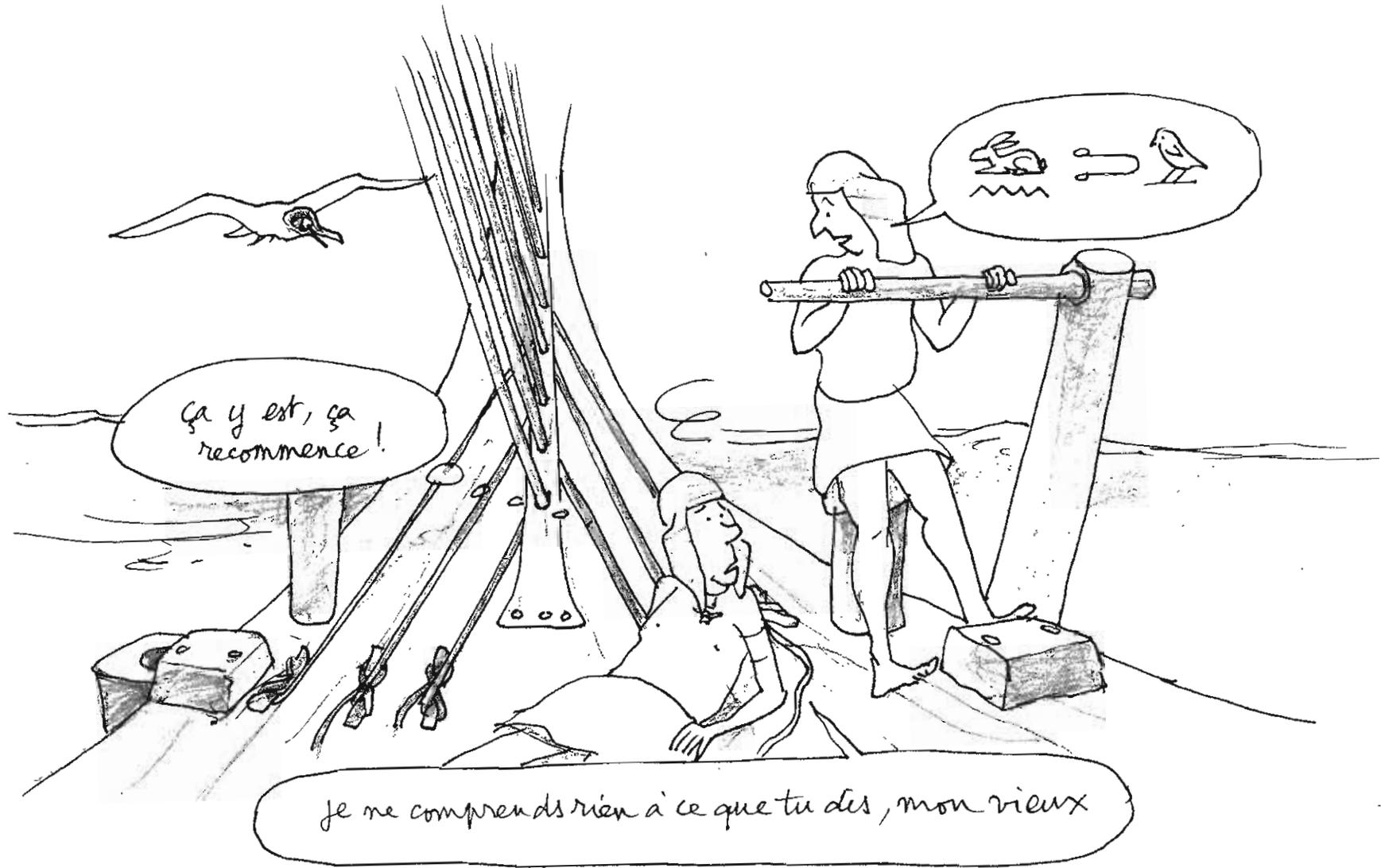


ce qui est bizarre c'est que les pyramides de Khéops et de Képhren présentent toutes deux ce qui ressemble à un accès rebouché à la hauteur du mamelon de pierre, de quelques mètres, sur lequel elles ont été construites



FIN

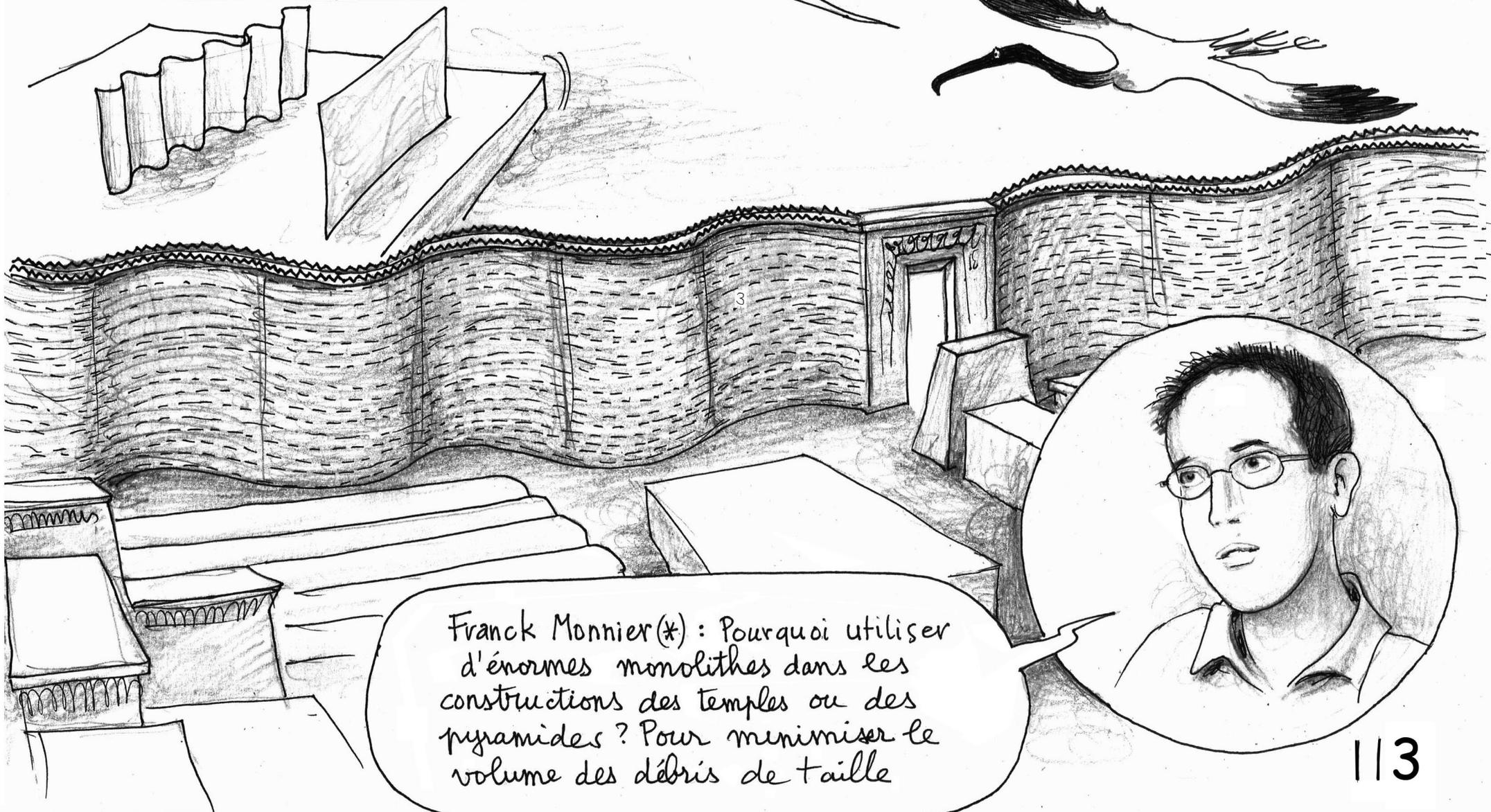




A SUIVRE

POST SCRIPTUM

les temples étaient entourés par un mur d'enceinte structuré comme une tôle ondulée, pour mieux résister aux séismes



Franck Monnier(*) : Pourquoi utiliser d'énormes monolithes dans les constructions des temples ou des pyramides ? Pour minimiser le volume des débris de taille

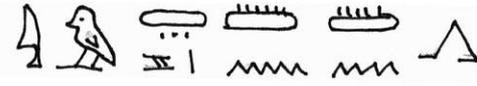
p. 9

 va-t-en! va-t-en!

p. 9

 prends garde!

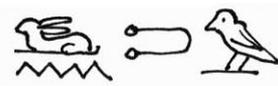
p. 19

 la terre a tremblé

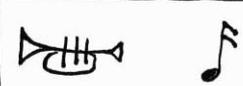
p. 25

 une coudée vaut sept paumes

p. 29

 dépêche-toi!

 tire, camarade!

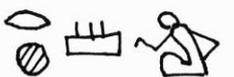
 je fais! | 

p. 30

 tire fort!

 fais attention!

p. 44

 puisse-je comprendre

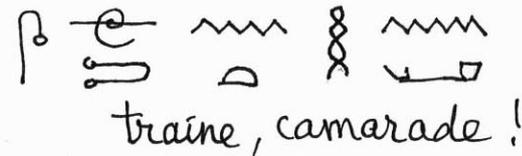
p. 47

 comment es-tu revenu?

 Insolent!

 Est-ce à cela que je vais passer la journée?

P. 79

 traîne, camarade!

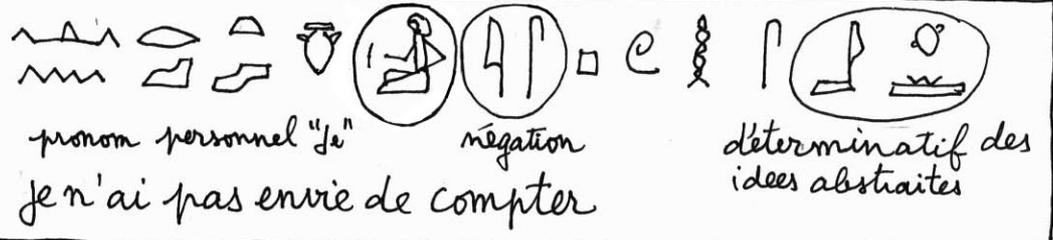
 Dépêche-toi, termine ça!

P. 87 bis (1)

 ce n'est pas un mensonge, c'est parfait

P. 87 bis (2)

 vois ce chantier, c'est pas mal

 pronom personnel "je" négation déterminatif des idées abstraites
je n'ai pas envie de compter

 Merci à Thierry Bergerot et à sa fille, égyptologues