



*Mons Claudianus – Désert Oriental*

# Le travail des roches dures dans l'Égypte ancienne

Jean-Paul GREMILLIET  
Cyrille DELANGLE

Février 2017



**Sommaire**

Introduction ..... 3

Chronologie de l'Égypte ..... 4

**1. Les roches travaillées en Égypte**

    Granite d'Assouan ..... 6

    Gisements de roches ..... 8

    Exemples de travaux de taille ..... 11

**2. Les techniques de taille des roches**

    L'obélisque inachevé ..... 25

    La dilatation thermique ..... 28

    Le travail à la mortoise ..... 29

    Technique du bas fourneau ..... 30

**3. Lectures**

    Perrier ..... 31

    Sampsell ..... 32

    Gremilliet ..... 32

    Kammerer ..... 34

    Besançon ..... 35

    Diop-Maes ..... 36

    Croizat ..... 37

    Faulkner ..... 38

Conclusion ..... 39



*Temple de Karnac*





## Introduction

L'Égypte ancienne nous fascine depuis des siècles, de Hérodote à Napoléon qui ont tous deux admiré les constructions pharaoniques, nous nous demandons encore quelles étaient les motivations de ces peuples pour avoir laissé sur les bords du Nil tant de marques, mais aussi peu d'indices sur leurs façons de construire. Quiconque a pris le temps de regarder une documentation illustrée ou s'est rendu en visite sur place ne peut qu'être impressionné par la quantité de travail nécessaire pour façonner les roches constitutives des pyramides, des temples, des statues ou des sarcophages.

Bien au-delà de la question de la manutention de certains blocs colossaux, les roches utilisées par les Égyptiens anciens étaient de deux types : soit des roches « tendres » parce que carbonatées (de nombreux calcaires), soit des roches « dures » parce que silicatées (grès, quartzite, granite, granodiorite, diorite, basalte, migmatite). Et se pose ainsi rapidement la question de l'outillage : un silex ou une roche dure bien choisis sont capables d'entamer une roche tendre, avec néanmoins quelques efforts du sculpteur... Mais comment attaquer une roche dure ? Comment tailler des blocs de dimension métrique, évider un sarcophage, ou sculpter avec une finesse et une précision inégalées les hiéroglyphes et les fresques, tout cela dans un groupe de roches réputées pour leur résistance et leur ténacité : les granitoïdes.

Les paragraphes qui suivent sont le résultat de questionnements conjoints de deux observateurs : un granitier et un géologue. Sur les presque quarante siècles des réalisations égyptiennes dont nous sommes loin d'avoir fait le tour, quelques idées sont nées, issues de la volonté du rapprochement de la compétence technique des gens du granit et de l'espoir de trouver des explications, ou des pistes, sur un plan scientifique. En si peu de temps, faible à l'échelle de l'Antiquité, aucune explication ne peut être définitive, mais nous espérons au minimum pouvoir susciter l'intérêt du lecteur et surtout provoquer la discussion.



*Granite d'Assouan - Louxor*



## Chronologie de l'Égypte

D'après une frise au musée du Louvre à Paris

4 000	3 900	3 800	3 700	3 600
<b>Période</b>		<b>Nagada I</b>		
		Fin de la Préhistoire. Sédentarisation croissante le long du Nil.		
<b>Dynasties</b>				
<b>Pharaons</b>				
<b>Objets et monuments</b>				
Tombes, vases en terre cuite, vases en pierre, statuette en ivoire, statuette en pierre				

3 500	3 400	3 300	3 200	3 100
<b>Nagada II</b>		<b>Nagada III</b>		<b>Époque thinite</b>
Nombreux cimetières. Matériel varié.		Premiers rois, écriture hiéroglyphique.		Un seul roi.
I <sup>re</sup> dynastie				
Ménès				
Palettes, vases en terre cuite, vases en pierre, statuettes		Couteau, palette au taureau		Palette de Narmer

3 000	2 900	2 800	2 700	2 600
Structures économiques, administratives et religieuses en place.			<b>Ancien Empire</b>	
II <sup>e</sup> dynastie			Stabilité et puissance royale.	
Djet			Khâsékhemouy	Djéser
Den				Snéfrou Khéphren
Stèle de Djet			Stèle des dames	Pyramide de Djéser à Saqqara
Tombe de Den			Statue de Khâsékhemouy	Pyramides de Giza
			IV <sup>e</sup> dynastie	Khéops Mykérinos

2 500	2 400	2 300	2 200	2 100
Naissance de l'architecture monumentale de pierre.			<b>Première période intermédiaire</b>	
VI <sup>e</sup> dynastie			Démembrement du pays en principautés.	
VI <sup>e</sup> dynastie			VII-VIII <sup>e</sup> dyn. IX-X <sup>e</sup> dyn. XI <sup>e</sup> dynastie	
Ouserkaf	Niouserré	Téti I <sup>er</sup>	Mérenrê I <sup>er</sup>	Rois Khéty
Sahouré	Ounas	Pépi I <sup>er</sup>	Pépi II	Montouhotep I <sup>er</sup> et II
Pyramides d'Aboussir			Pépi II sur les genoux de sa mère	Antef I à III
Tête d'Ouserkaf		Statue en cuivre de Pépi I <sup>er</sup>	Tombes peintes	Statue de Chémès

2 000	1 900	1 800	1 700	1 600
<b>Moyen Empire</b>			<b>Deuxième période intermédiaire</b>	
Rétablissement de la monarchie, essor culturel, expansion.			Invasion des Hyksôs, division du pays.	
XII <sup>e</sup> dynastie			XIII <sup>e</sup> dynastie	XIV <sup>e</sup> dynastie XV <sup>e</sup> -XVI <sup>e</sup> -XVII <sup>e</sup> dynasties
Amenemhat I <sup>er</sup>	Sésostri III		Sébekhotep IV	
Sésostri I <sup>er</sup>	Amenemhat III			Kamosis
Chapelle blanche de Karnak			Bas-relief de Médamoud	
	Pyramide d'Amenemhat III			Poignard de Kamosis



1 500	1 400	1 300	1 200	1 100
<b>Nouvel Empire</b> Conquête en Nubie et Syrie. Afflux de richesses. Prééminence du temple d'Amon				<b>Troisième</b>
XVIII <sup>e</sup> dynastie	XIX <sup>e</sup> dynastie		XX <sup>e</sup> dynastie	XXI <sup>e</sup> dynastie
Hatchepsout Aménophis I <sup>er</sup>	Aménophis III Thoutmosis III	Akhénaton Toutânkhamon	Ramsès I <sup>er</sup> Séthi I <sup>er</sup>	Ramsès II Séthi II Ramsès III Ramsès XI Psousennès I <sup>er</sup>
Temples de Thèbes		Colosses	Temple de Ramsès II à Abou Simbel	
		Masque funéraire de Toutânkhamon	Obélisque Concorde	Temple de Ramsès III

1 000	900	800	700	600
<b>période intermédiaire</b> Coexistence de plusieurs pharaons. Profonde mutation sociale.			<b>Basse Époque</b> Dernières périodes d'indépendance.	
XXII <sup>e</sup> dynastie	XXIII <sup>e</sup> dynastie	XXIV <sup>e</sup> -XXV <sup>e</sup> dynastie		XXVI <sup>e</sup> dynastie
XXVII <sup>e</sup> dynastie				
Chéchonq I <sup>er</sup>	Orsokon II	Piânkhy Chabaka	Taharqa	Psammétique I <sup>er</sup> Apriès Amasis Darius I <sup>er</sup> Cambyse
Ruines de Tanis			Colonnes de Taharqa (temple de Karnak)	Ruines de Saïs

500	400	300	200	100
<b>Renaissance égyptienne.</b>		<b>Epoque ptolémaïque</b> Souverains gréco-macédoniens. Alexandrie.		<b>Egypte romaine</b> Province
XXVIII <sup>e</sup> -XXIX <sup>e</sup> -XXX <sup>e</sup> dynastie				
Nectanébo I <sup>er</sup> Nectanébo II		Alexandre le Grand Ptolémée I <sup>er</sup>	Ptolémée V	Cléopâtre VII
Temple d'Hibis	Porte de Nectanébo I <sup>er</sup> (temple de Karnak)	Temple d'Horus Tombe de Pétosiris	Pierre de Rosette Temple de Philae	Odéon d'Alexandrie



Diorite - Déesse Sekhmet - Louvre



## 1. Les roches travaillées en Égypte

### Granite d'Assouan

Référence CGTG : 0-LM0445, collecte *in situ* Pierre RIVOALLAN.

Description :

- Beaucoup de **quartz** en grandes plages, à extinction droite, et micro-fracturation transminérale.
- Feldspath alcalin : **microcline** perthitique en phénocristaux. Inclusions de biotite et de petits feldspaths plagioclases.
- Feldspath plagioclase : **oligoclase** (An<sub>20</sub>). Macle polysynthétique parfois couplée à celle de l'albite. Cœur souvent séricitisé. Zonation avec bordure plus albitique. Rares myrmékites en contact avec des feldspaths alcalins.
- Mica noir : biotite. Brun-vert dû à une faible chloritisation. Inclusion de zircon avec auréole d'amorphisation.
- Pyroxène : aegyrine (?). Extinction oblique à 15° ou inférieure.
- Apatite.
- Minéraux opaques.

Composition minéralogique (méthode du comptage de points au microscope polarisant) :

Quartz	Feldspath alcalin	Feldspath plagioclase	Biotite	Pyroxène	Apatite	Opaques
43%	35%	13%	7%	0,6%	0,3%	0,3%
Minéraux cardinaux						
<b>47%</b>	<b>38%</b>	<b>15%</b>				

Nom : granite.

Anciennement nommé « syénite d'Assouan » de l'ancien nom de la ville : Syène (Égypte).

Quand une roche magmatique plutonique telle que le granite d'Assouan possède des minéraux porphyroïdes, c'est-à-dire de plus grande taille que les autres minéraux, il est possible d'observer que ces minéraux, des feldspaths alcalins de type microcline ou orthose, possèdent statistiquement une orientation préférentielle. Un peu comme un jeu de dominos basculés où chaque individu possède un angle nul ou faible par rapport à l'horizontale. Cette disposition est la trace des mouvements magmatiques dans le pluton en cours de refroidissement.

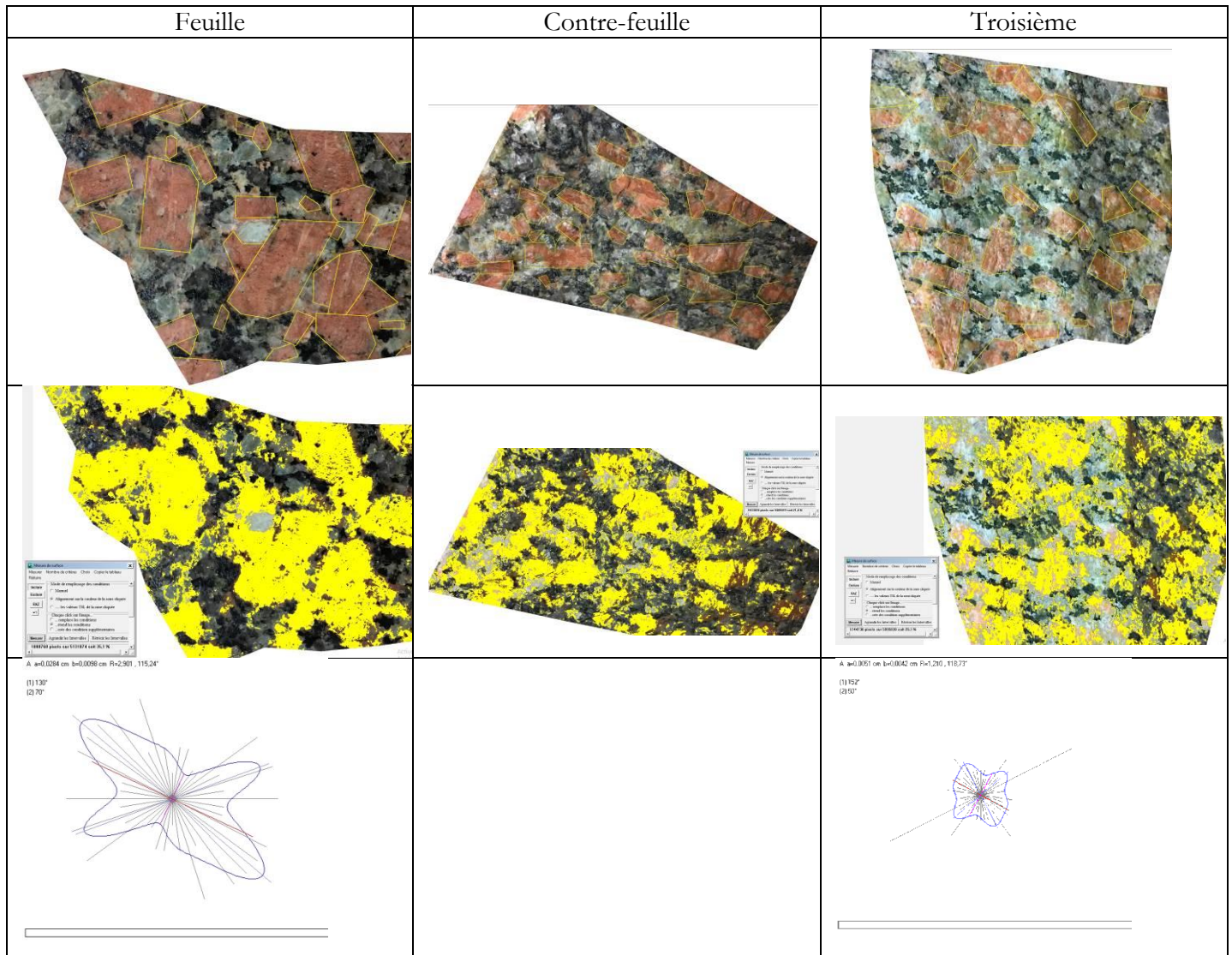
Ces plans d'écoulements ensuite figés sont nommés plans de fluidalité magmatique ou foliation (pour le géologue), ou feuille (pour le carrier). Cette fabrique magmatique est issue de la rotation des cristaux dans le bain silicaté fondu au cours de la déformation (fluage) du magma. Le couple de cisaillement entraîne une rotation d'autant plus rapide que l'allongement du cristal fait un angle élevé avec le plan de cisaillement.

La feuille est donc un plan parallèle à la plus grande face du feldspath, la contre-feuille un plan parallèle à la face moyenne et la troisième un plan parallèle à la plus petite face du cristal. À énergie équivalente, le débit de la roche sera plus facile si le plan de fracture est confondu avec la plus grande surface possible de contact des feldspaths avec les autres minéraux. Au-delà de l'observation de la disposition géométrique des minéraux, le carrier va tester la roche avec une chasse pour déterminer laquelle des trois dimensions permet un clivage plus aisé. À la chasse, dans la feuille, le carrier sort une grosse écaille relativement plane, alors que dans la contre-feuille et/ou la troisième, il ne ménagera, avec d'avantage d'efforts, que des éclats de petite dimension sans clivage net (d'après des entretiens avec Richard CAVALLI, granitier exploitant de carrières dans les Vosges).

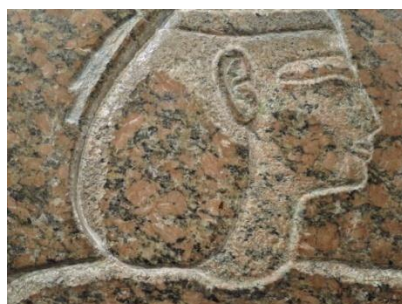




Détermination de la fabrique magmatique à partir de la disposition des phénocristaux de feldspaths alcalins.



Le tableau ci-dessus est réalisé à partir de photographies du granite d'Assouan et d'un travail de photo-interprétation avec un logiciel de type Mesurim. L'étalonnage de la détection des réflectances de chaque pixel est effectué pour obtenir une bonne concordance avec le comptage de points (proportion de minéraux aluminosilicatés et ferromagnésiens). Du fait de l'orientation préférentielle des feldspaths alcalins dans la roche, les faces cristallines ne sont statistiquement pas les mêmes. Dans la feuille, une proportion de 34,1 % de feldspaths alcalins est déterminée, alors que dans la contre-feuille il n'y en a plus que 29,1 %, et dans la troisième 21,6 %.



Granite d'Assouan – Sarcophage de Ramsès III - Louvre



**Naos qui abritait une statue d'Osiris**  
 Règne d'Amasis, 570-526 av. JC, XXVI<sup>e</sup> dynastie  
**Granite d'Assouan**  
 Musée du Louvre

	
<p>Fond montrant le travail dans la contre-feuille. L'axe des feldspaths alcalins va d'en haut à gauche vers en bas à droite.</p>	<p>Vue de détail de l'axe d'un ouvrant : travail en creux, en relief et en forage circulaire.</p>

**Gisements de roches**

**Granite et granodiorite**

- Assouan (exploité sur une zone de 20 km<sup>2</sup> environ)
- Îles du Nil : Abou, Satit
- Mons Claudianus
- Rohannou (Ouadi Hammamat, exploité pendant la V<sup>e</sup> dynastie)

**Diorite**

- Nubie

**Grès et quartzite rouge**

Les grès nubiens recouvrent le tiers de la surface de l'Égypte. Ils sont d'un rouge-brun typique (hématite) et se sont formés au Crétacé (80-90 Ma).

- Louxor
- Amont Thèbes
- Grande partie du Nil
- Abou Simbel
- Héliopolis

**Trachyandésite = porphyre rouge**

- Mons Porphyrites





Schistes

- Carrières de Rohannou (désert oriental) = pierre de Bekken

Basalte

- Assouan
- Fayoum : Gebel Qatrani

Grauwacke

- Ouadi Hammamat (près de Qena, au Sud de Louxor)

Migmatite ou gneiss

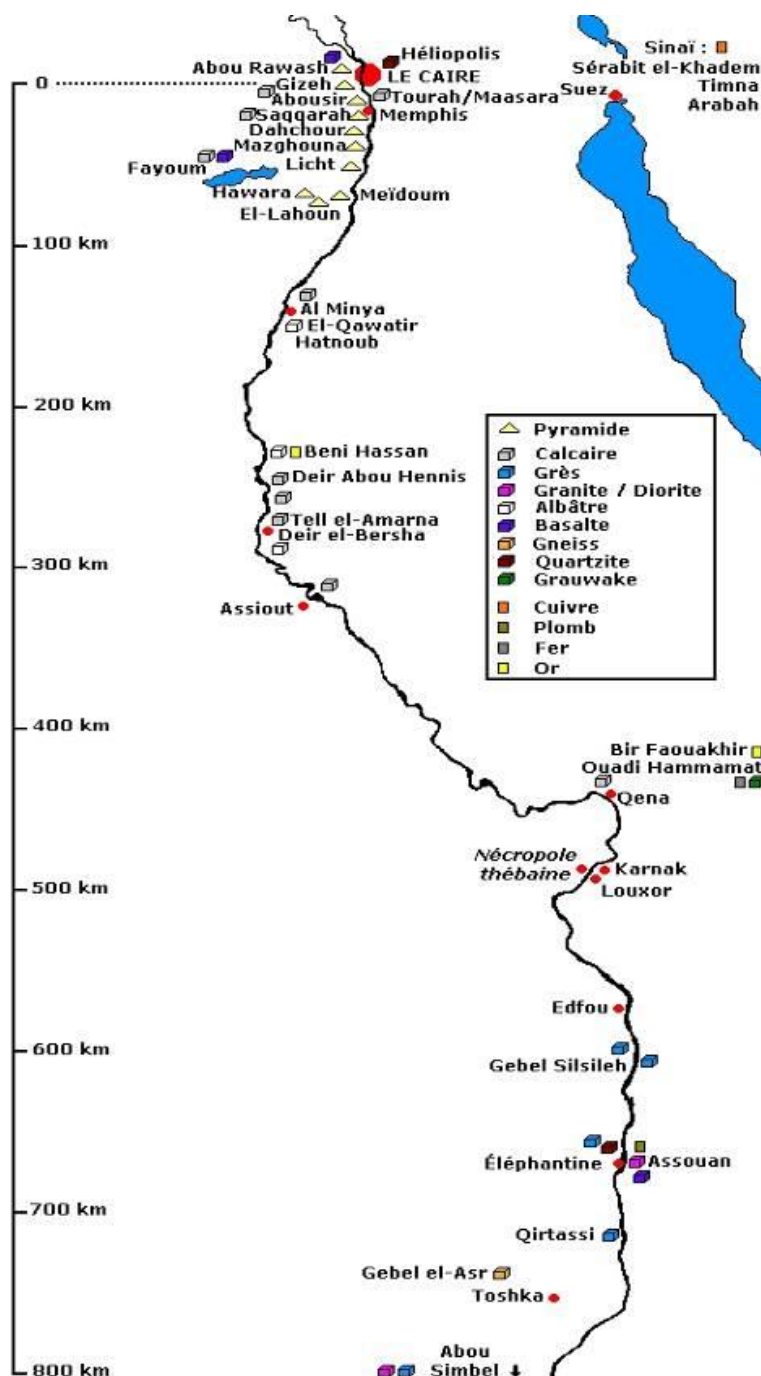
- Gebel el-Asr (Ouest du lac Naser)

Calcaires

- Gizeh
- Fayoum
- El Minya
- Tell el-Amarna
- Assiout
- Tourah (calcaire blanc)
- El Maasara (calcaire blanc)

Albâtre

- Beni Hassan
- Hatnoub



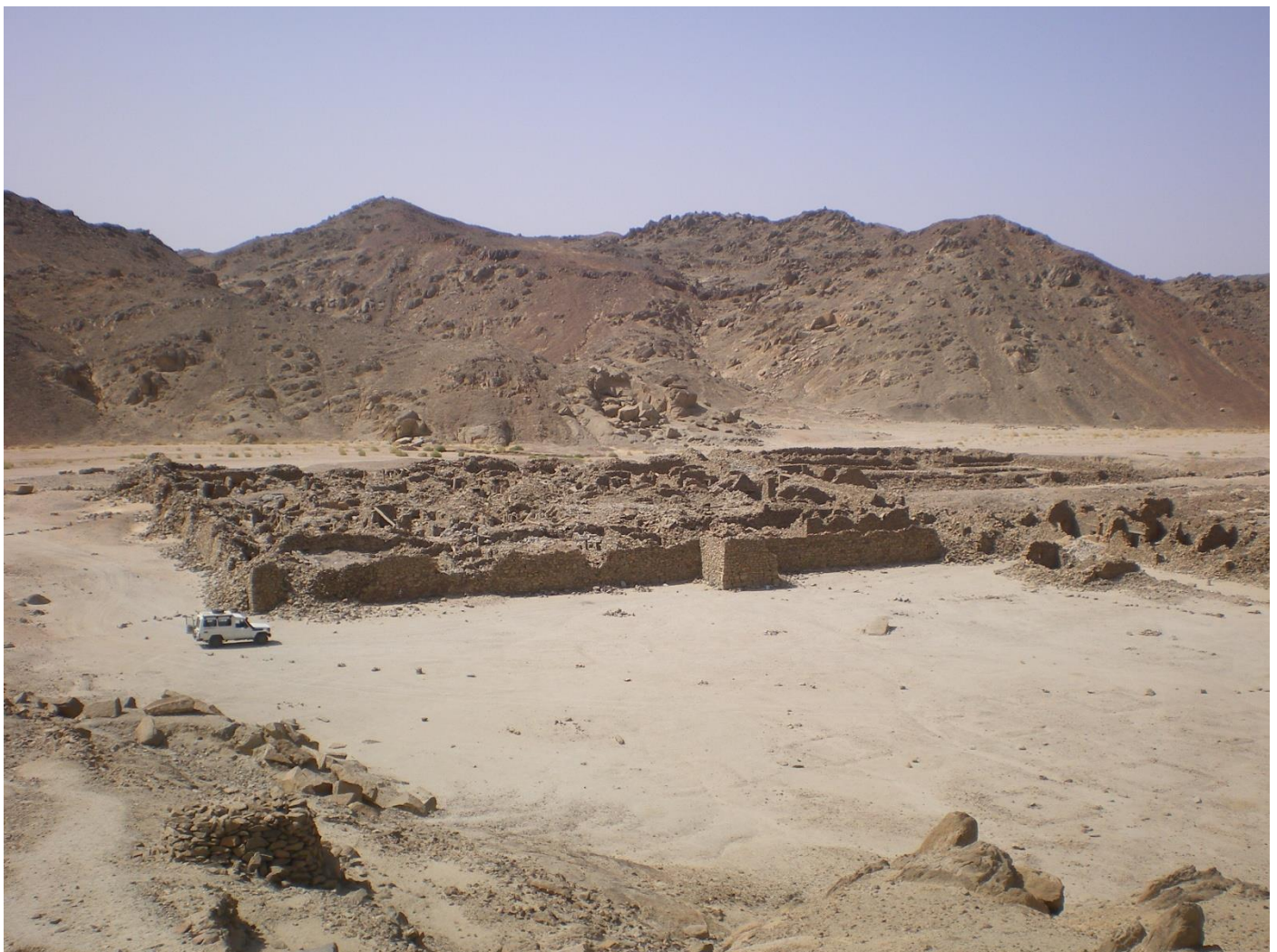
Carte Gérard Ducher



**Inscriptions sur une stèle découverte en 1947 par Georges GOYON :**

L'expédition organisée l'an 38 du règne de Sesostri I [vers 1 918 av. JC] rapporta en 30 jours de travail 60 sphinx et 150 statues. Carrières du Ouadi Hammamat, entre Koptos et la Mer Rouge, à 60 km du Nil.

Environ 19 000 personnes :  
3 dignitaires  
20 maires-gouverneurs  
1 chef de la troupe des travailleurs  
1 courrier  
8 scribes  
1 000 soldats  
30 chasseurs  
60 pêcheurs  
20 brasseurs  
20 meuniers  
20 boulangers  
50 échansons  
17 000 travailleurs




*Campement – Ouadi Hammamat – Désert Oriental*







**Exemples de travaux de taille**

Représentatifs de la diversité d'objets, de formes et de roches.


	Période	Nagada I
	Date	3 900-3 500 av. JC
	Objet	Têtes de massues
	Roche	Brèche, diorite ou gabbro
	Musée	Louvre
	Note	Ténacité égale ou supérieure au granite.


	Période	Nagada II
	Date	3 500-3 300 av. JC
	Objet	Vase
	Roche	Serpentinite
	Musée	Rodin
	Note	Roche tendre pouvant être travaillée au cuivre.


Les vases, ou jarres, ont pu être façonnés par tournage au moins partiellement du fait de la présence des anses. Une taille devenait alors nécessaire. L'intérieur étant évidé par un dispositif de silex fixé sur une manivelle entraînant un abrasif de type sable, technique bien décrite par ailleurs.

	Période	Nagada II
	Date	3 500-3 100 av. JC
	Objet	Vase
	Roche	Trachy-andésite
	Musée	Louvre
	Note	Ténacité supérieure au granite.




	Période	Nagada II
	Date	3 500-3 100 av. JC
	Objet	Vase
	Roche	Gabbro ou diorite
	Musée	Louvre
	Note	Ténacité égale ou supérieure au granite.


	Période	Nagada II
	Date	3 500-3 100 av. JC
	Objet	Vase
	Roche	Diorite
	Musée	Louvre
	Note	Ténacité égale ou supérieure au granite.


	Période	Nagada II
	Date	3 500-3 100 av. JC
	Objet	Vase
	Roche	Gneiss
	Musée	Louvre
	Note	Ténacité égale au granite, mais avec une difficulté supplémentaire pour le travail.







	Période	Nagada II
	Date	3 500-3 300 av. JC
	Objet	Vase
	Roche	Trachyandésite
	Musée	Chicago
	Note	Ténacité supérieure au granite.


 <p>©Alain Guilleux  <a href="http://alain.guilleux.free.fr">http://alain.guilleux.free.fr</a></p>	Période	Nagada II
	Date	3 500-3 200 av. JC
	Objet	Palette
	Roche	Schiste
	Musée	Caire
	Note	Nature du schiste ?


	Période	Nagada III
	Date	3 150 av. JC
	Objet	Palette de Narmer
	Roche	Schiste
	Musée	Caire
	Note	Nature du schiste ?



	Période	Époque thinite
	Date	3 100-2 700 av. JC
	Objet	Fragment de vase
	Roche	Trachy-andésite
	Musée	Louvre
	Note	Fouilles d'Abydos


	Période	I <sup>re</sup> dynastie – Semerkhet II
	Date	2 975-2 965 av. JC
	Objet	Palette
	Roche	Diorite
	Musée	Caire
	Note	Piquage assez grossier, mais trace nette d'un outil pointu.


	Période	I <sup>re</sup> dynastie – Qa
	Date	2 965-2 930 av. JC
	Objet	Stèle
	Roche	Basalte
	Musée	
	Note	Usure et polissage.


	Période	Ancien Empire
	Date	Vers 2 700-2 200 av. JC
	Objet	Ébauche d'un buste de roi
	Roche	Migmatite
	Musée	Louvre
	Note	Ténacité supérieure au granite : migmatite de type diatexite montrant de larges bandes quartzo-feldspathiques. Les traces de piquage sont nettement visibles sur cette ébauche.

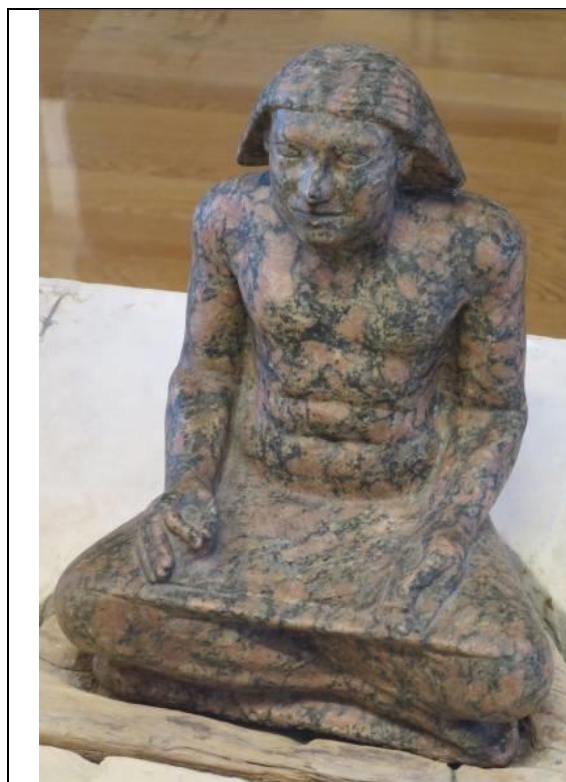




	Période	III <sup>e</sup> dynastie – Gouverneur Metjen
	Date	2 600 av. JC
	Objet	Statue
	Roche	Granite rose
	Musée	Berlin
	Note	Fouilles de Saqqarah. Nombreuses traces de piquage. Quelle finesse de travail pour le III <sup>e</sup> millénaire av. JC !

	Période	III <sup>e</sup> dynastie – Houni
	Date	2 650-2 630 av. JC
	Objet	Statue
	Roche	Granite d'Assouan
	Musée	Brooklyn
	Note	Tête d'africain (Nubien). Poli altéré, mais traces de piquage.

	Période	III <sup>e</sup> ou IV <sup>e</sup> dynastie
	Date	Vers 2 600 av. JC
	Objet	Grand Sphinx
	Roche	Granite d'Assouan
	Musée	Louvre
	Note	Trouvé à Tanis. Sculptures très fines sur la barbe et les épaules. Polissage parfait. Travail exceptionnel.



Période	IV <sup>e</sup> dynastie – Sedka fils de Djedefre (Didoufri)
Date	2 580-2 570 av. JC
Objet	Statue
Roche	Granite d'Assouan
Musée	Louvre
Note	Polissage parfait. La statue est encastrée dans un socle en bois, puis dans un second en calcaire.




Période	IV <sup>e</sup> dynastie – Djedefre
Date	2 580-2 570 av. JC
Objet	Statue
Roche	Quartzite rouge
Musée	Louvre
Note	





Période	IV <sup>e</sup> dynastie – Kephren
Date	2 570 av. JC
Objet	Sarcophage
Roche	Granite
Musée	Pyramide de Gizeh
Note	Couvercle coulissant avec trois côtés taillés en queue d'aronde afin de coulisser horizontalement le couvercle. Deux trous de chevilles visibles rendent définitive la fermeture.



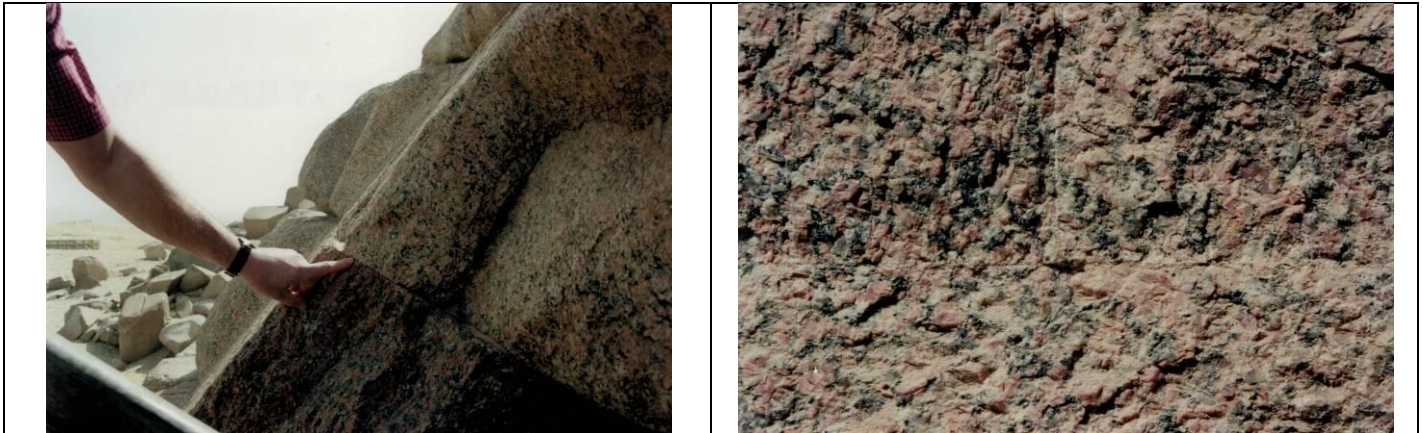


	Période	IV <sup>e</sup> dynastie – Kephren
	Date	2 570 av. JC
	Objet	Statue
	Roche	Migmatite
	Musée	Louvre
	Note	Donné par méconnaissance pour une diorite.


	Période	IV <sup>e</sup> dynastie – Mykérinos
	Date	2 535-2 515 av. JC
	Objet	Statue
	Roche	Migmatite
	Musée	Caire
	Note	Trop souvent, le terme « migmatite » est ignoré, donnant lieu à un nom de roche fantaisiste.


<p>MYKERINOS</p> <p>Vestige du parement de granite rouge.</p>  <p><small>Credit: Jon Bodsworth</small></p>	Période	IV <sup>e</sup> dynastie – Mykérinos
	Date	2 490-2 473 av. JC
	Objet	Pyramide
	Roche	Granite d'Assouan
	Musée	Plateau de Giza
	Note	Parement en granite sur 20 mètres de hauteur (les 16 premières assises).





Vues de détail sur les joints du parement en granite de la pyramide de Mykérinos. Notons la planéité des blocs et par conséquent la finesse des joints réalisés et ce, sur des blocs de dimensions métriques de plusieurs tonnes. La réalisation est possible après piquage des faces, puis en utilisant un autre bloc de granite déplacé sur la surface avec du sable (d'origine alluvionnaire, ou issu d'une roche sédimentaire détritique type grès). Cette technique est encore utilisée aujourd'hui pour dresser la surface des tables de précision en gabbro (dites improprement « marbres »), avec un abrasif moderne tel que le carbure de carborundum.

	Période	V <sup>e</sup> dynastie – Sahoure
	Date	2 500-2 490 av. JC
	Objet	Statue
	Roche	Migmatite
	Musée	New York
	Note	Polissage parfait.

	Période	V <sup>e</sup> dynastie – Sahoure
	Date	2 500-2 490 av. JC
	Objet	Statue
	Roche	Migmatite
	Musée	New York
	Note	Polissage parfait.





	Période	V <sup>e</sup> dynastie – Pierre de Palerme
	Date	2 470 av. JC
	Objet	Palette
	Roche	Basalte
	Musée	Palerme
	Note	


	Période	VI <sup>e</sup> dynastie – Pepi I
	Date	2 330-2 280 av. JC
	Objet	Statue
	Roche	Quartzite rouge
	Musée	New York
	Note	

	Période	V <sup>e</sup> dynastie – Sékhemka
	Date	Vers 2 500 av. JC
	Objet	Statue
	Roche	Granite d'Assouan
	Musée	Louvre
	Note	Granite peint.




	Période	V <sup>e</sup> dynastie – Sékhemka
	Date	Vers 2 500 av. JC
	Objet	Statue
	Roche	Diorite
	Musée	Louvre
	Note	Diorite peinte


	Période	Moyen Empire – XII <sup>e</sup> ou XIII <sup>e</sup> dynastie
	Date	2 033-1 710 av. JC
	Objet	Scarabée d'Impy
	Roche	Améthyste
	Musée	Louvre
	Note	Améthyste du sud de l'Égypte ou de Nubie. Environ 4 cm. L'améthyste est une variété de quartz de dureté 7. Travail d'une grande finesse sur une si petite pièce.

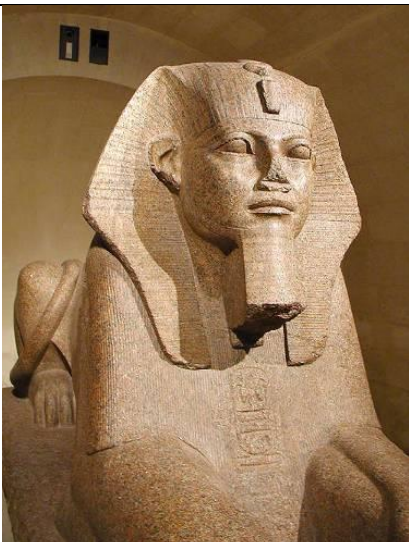
	Période	XII <sup>e</sup> dynastie – Enemhat I
	Date	1 994-1 964 av. JC
	Objet	Statue
	Roche	Granite d'Assouan
	Musée	
	Note	Taille parfaite.






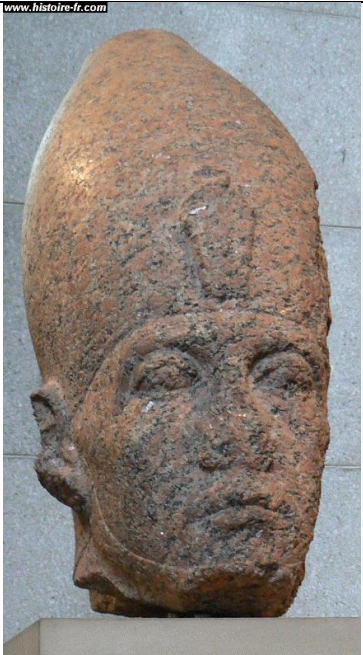
	Période	XII <sup>e</sup> dynastie – Senousret I – Sesostris I
	Date	1 964-1 919 av. JC
	Objet	Statue
	Roche	Migmatite
	Musée	Berlin
	Note	Migmatite de type diatexite.


	Période	XII <sup>e</sup> dynastie – Senousret I – Sesostris I
	Date	1 964-1 919 av. JC
	Objet	Statue
	Roche	Granite
	Musée	Leipzig
	Note	

	Période	XII <sup>e</sup> dynastie – Amenemhat II
	Date	1 919-1 881 av. JC
	Objet	Statue de sphinx
	Roche	Granite d'Assouan
	Musée	Louvre
	Note	Polissage parfait.



	Période	XII <sup>e</sup> dynastie – Senousret III – Sesostris III
	Date	1 872-1 854 av. JC
	Objet	Statue de tête
	Roche	Granite d'Assouan
	Musée	Munich
	Note	Sesostris III fait creuser le canal de la Mer Rouge au Nil, à comparer au canal de Suez : 1 869 après JC, soit à près de 4 000 ans d'intervalle.

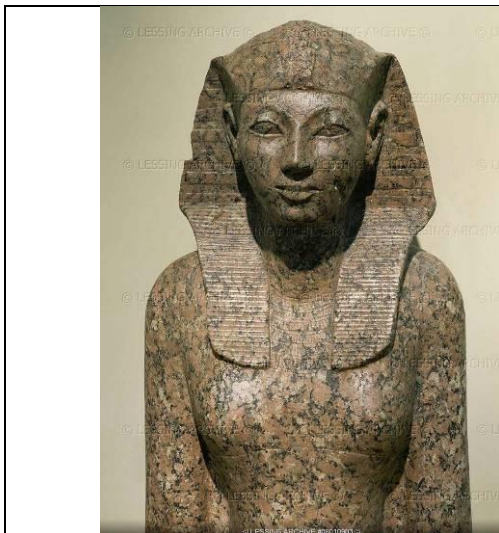
	Période	XII <sup>e</sup> dynastie – Senousret III – Sesostris III
	Date	1 872-1 854 av. JC
	Objet	Statue de tête
	Roche	Granite d'Assouan
	Musée	Londres
	Note	

	Période	XII <sup>e</sup> dynastie - Amenemhat III
	Date	1 853-1 809 av. JC
	Objet	Statue
	Roche	Diorite ?
	Musée	Londres
	Note	





Période	XII <sup>e</sup> et XIV <sup>e</sup> dynastie – Sobekhotep I
Date	1 797-1 634 av. JC
Objet	Sarcophage
Roche	Granite d'Assouan
Musée	Abydos
Note	50 tonnes. Flammé à l'extérieur. Taillé à l'intérieur.



Période	XVIII <sup>e</sup> dynastie – Hathshepsut
Date	1 478-1 457 av. JC
Objet	Statue
Roche	Granite
Musée	New-York
Note	



Période	XVIII <sup>e</sup> dynastie – Toutankhamon
Date	1 339-1 329 av. JC
Objet	Poignard
Roche	Fer météoritique (10% nickel)
Musée	Le Caire
Note	Variété d'acier dite « inox ».



Période	XIX <sup>e</sup> dynastie – Ramsès I
Date	1 292-1 291 av. JC
Objet	Statue de tête
Roche	Phorphyre rouge de Porphyrites
Musée	New-York
Note	La roche est une andésite, ou trachy-andésite. Le nom de porphyre vient du Mons Porphyrites, largement exploité par les Romains, pour sa couleur propre aux empereurs. C'est aujourd'hui un nom générique en géologie, et non plus un terme de la classification des roches.





Période	XIX <sup>e</sup> dynastie - Seti I
Date	1 290-1 279 av. JC
Objet	Stèle
Roche	Basalte
Musée	Jérusalem
Note	Roche dure et cassante.



Période	XIX <sup>e</sup> dynastie – Ramsès II
Date	1 279-1 213 av. JC
Objet	Fragment de naos
Roche	Grès rouge quartzitique
Musée	Louvre
Note	Trouvé à Tell el-Maskhouta.



Période	XX <sup>e</sup> dynastie – Ramsès III
Date	1 185-1 153 av. JC
Objet	Sarcophage
Roche	Granite
Musée	Louvre
Note	18 tonnes. La cuve est creusée sur toute la hauteur. L'épaisseur des parois est de l'ordre du décimètre. Ce travail s'apparente à la taille de bassins en granite ou d'abreuvoirs de grande taille dans les Hautes-Vosges aux XVII <sup>e</sup> et XIX <sup>e</sup> siècles.



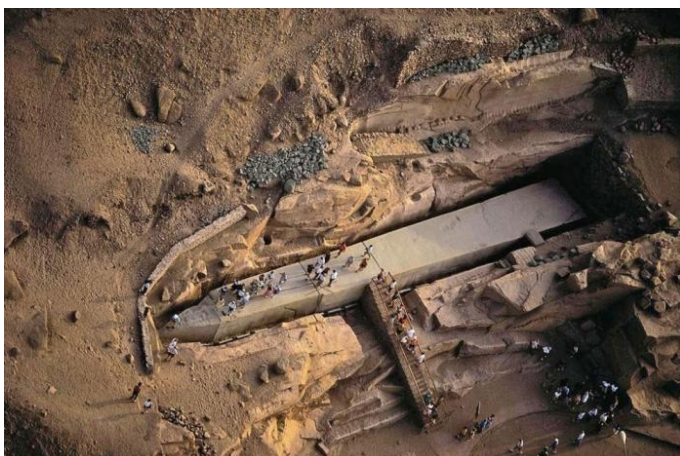


## 2. Les techniques de taille des roches

### Obélisque inachevé



Vue satellite du site de l'obélisque inachevé à Assouan.  
On note les traces laissées par l'extraction de nombreux autres obélisques.

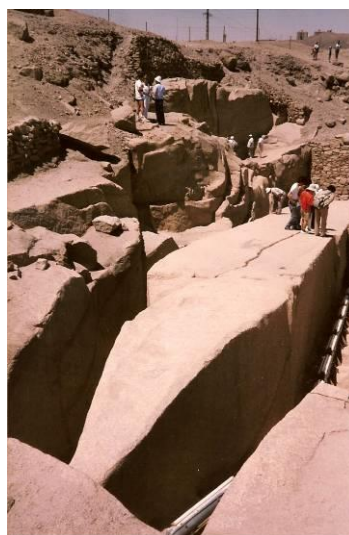


Carrière de l'obélisque inachevé à Assouan. Commanditaire : Thoutmosis III (XVIII<sup>e</sup> dynastie – 1458-1425 av. JC). D'autres carrières existent vers le sud, à quelques centaines de mètres. Elles sont plus ou moins recouvertes par les habitations modernes. L'ensemble du site ne se limite pas à cet obélisque, puisque de nombreuses traces d'exploitations d'autres obélisques sont visibles. Deux familles de fracturations sont visibles : la N10-20° liée au Nil, et la N70-80° respectée par l'orientation des exploitations des obélisques. De la même manière, les fractures de décompression magmatiques sont placées (sub-)horizontalement.





Avant d'attaquer le massif granitique sain, il a été nécessaire de décaper la couverture existante sur plusieurs mètres d'épaisseur : particulièrement les boules issues de l'altération.



Une des fractures de décompression passe au-dessus de la pointe de l'obélisque. La cassure longitudinale vers la pointe de l'obélisque est orientée N70-80°, et s'est ouverte lors de la relaxation provoquée par le dégagement latéral. Cette diaclase n'avait pas été détectée avant les travaux : en termes de carrier, il s'agit d'un « poil ». Avait-elle été détectée avant le commencement des travaux ? Ou la masse considérable du monolithe (1 200 tonnes) l'a-t-elle révélée tardivement ? D'où le caractère inachevé de l'obélisque. Il semble qu'une découpe ait été tentée pour diminuer la taille de l'obélisque et éliminer le défaut. Dans tous les cas, les anciens carriers égyptiens avaient une très grande expérience du travail du granite et une grande technicité.







À côté de l'obélisque inachevé, trace d'un autre monument qui a été dégagé. L'image montre à nouveau les diaclases N10-20° avec le champ de fracture associé. La roche saine se retrouve de chaque côté. L'obélisque prélevé montre nettement la ceinture de coins (sur un seul côté) afin de séparer le monolithe de sa base. Vu la coupe, on se trouve dans le plan de la « feuille » du granite, dans le sens de la décompression sub-horizontale.



Cupules en marches d'escalier montrant la technique d'attaque au feu pour la décohérence des minéraux de la roche.



Boule de dolérite utilisée après l'attaque au feu pour dégager la partie fragilisée de la roche.

Les cupules sont réalisées dans un granite sain (quartz et feldspaths). L'altération en pelures est proche de l'altération en boules déjà observée sur les parties superficielles de la carrière (« pelures d'oignon »). Les cupules sont géométriques et périodiques, donc une altération provoquée par l'homme. L'action du feu provoque les dilatations différentielles des minéraux du granite, diminuant fortement la cohésion des grains, pouvant encore être augmentées par le choc thermique provoqué par l'eau versée sur la surface encore chaude. Ainsi la roche est fragilisée sur quelques centimètres d'épaisseur et peut s'effriter alors relativement aisément. Il y a encore quelques dizaines d'années, on pouvait observer tout autour de l'obélisque inachevé de grandes quantités de fragments de charbon de bois, de type sycamore. Encore aujourd'hui on en trouve dans les anfractuosités de la roche. Les boules de diorite ne pouvaient servir à fracturer le granite sain (dureté et ténacité similaires), mais elles pouvaient parfaitement servir à percuter le granite fragilisé par le feu et le choc thermique. La diorite provient d'un affleurement en bordure du Nil, et/ou sont trouvées en enclaves relictuelles dans le granite d'anatexie.



L'outil était déjà façonné. La frappe pouvait s'effectuer accroupi avec un travail assez pénible dans le temps. Toutefois, sur la paroi opposée de la carrière, une peinture montre un homme debout muni d'un manche en bois lié à sa base à une boule de diorite, nommée dame. Avec une quantité de charbon de bois assez raisonnable, le travail peut aller relativement vite, le charbon étant poussé d'une cupule à l'autre. La disposition des cupules en marches d'escalier peut être un bon indice de la progression des tas de braises.



Le massif granitique d'Assouan est fortement fracturé, des blocs de toutes tailles peuvent être prélevés.

### La dilatation thermique

Les minéraux cardinaux du granite sont anisotropes : ils possèdent des coefficients de dilatation thermique différents selon les axes  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  et les plans 001, 010, 100.

Coefficient de dilatation linéaire (H. SAUCIER et A. SAPLEVITCH, Strasbourg)

Quartz	$0,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Feldspath alcalin var. orthose	0,09 à $1,48 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Feldspath alcalin var. microcline	0,45 à $16 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Feldspaths plagioclases	2 à $12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Calcul de la longueur de dilatation :

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

$\Delta L$  : dilatation (en mm)

$\alpha$  : coefficient de dilatation thermique (en  $\text{K}^{-1}$ )

L : longueur de départ (en mm)

$\Delta T$  : différence de température (en  $^{\circ}\text{C}$ )

Exemple pour le granite d'Assouan

Mesure au microscope polarisant sur lame mince d'un joint entre un quartz et un feldspath plagioclase : longueur de 1 mm. On considère une variation de température de  $400^{\circ}\text{C}$  (feu au charbon de bois).

$$\begin{aligned} \Delta L(Q) &= \alpha_Q \cdot L \cdot \Delta T \\ &= 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 400 \\ &= 0,0002 \text{ mm} \\ &= 0,2 \mu\text{m} \end{aligned}$$





$$\begin{aligned} \Delta L(F) &= \alpha_F \cdot L \cdot \Delta T \\ &= 12 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 400 \\ &= 0,0048 \text{ mm} \\ &= 4,8 \mu\text{m} \end{aligned}$$

Le glissement différentiel au joint des deux minéraux est de  $\Delta^2L = 4,6 \mu\text{m}$ , soit 0,46 % de la longueur initiale.

Pour le travail au feu, le paramètre principal est la nature des minéraux et leurs coefficients différentiels de dilatation. De plus une modification de la cristallographie du quartz peut être avancée.

À une température de 573°C, le quartz alpha (polymorphe de basse température, de densité 2,65) se transforme en quartz bêta (polymorphe de haute température, de densité 2,53) en s'accompagnant d'une dilatation volumique de 0,829 % (linéaire de 0,45 %). Dans une granodiorite (avec Q42, FPL46, FA8, Bio4) de masse volumique 2 690 kg/m<sup>3</sup>, la vitesse de propagation des ondes est d'environ 5 000 m/s. Après un passage à plus de 600°C, la vitesse de propagation n'est plus que de 2 000 m/s. De 105 à 200°C il y a augmentation de la perméabilité par fissuration issue de la décohésion entre les minéraux de la roche. Au-dessus de 600°C la forte augmentation de la perméabilité résulte de la transformation allotropique du quartz.

**Statue** de Montouhétep, vizir de Sésostris I<sup>er</sup> et Amenemhat II  
 Vers 1 920-1 900 av. JC, XII<sup>e</sup> dynastie

**Granite sombre**

Musée du Louvre

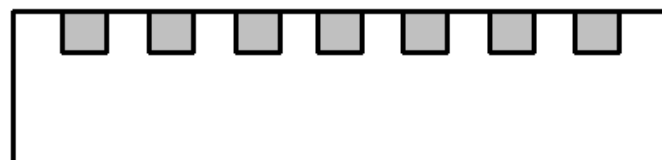
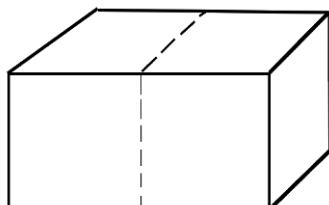
Exemple de pelure du granite causé par le travail au feu.



### Travail de la roche à la mortoise

La résistance moyenne à flexion des granites est de 141 kg/cm<sup>2</sup> (soit 1,41.10<sup>6</sup> kg/m<sup>2</sup>).

Pour couper en deux un bloc de granite sur une surface de 1,5 m<sup>2</sup> (bloc de 1,5 m en longueur et 1 m en hauteur), il est nécessaire d'appliquer une force de 1,41.10<sup>6</sup> x 1,5 = 2,115.10<sup>6</sup> kg (soit 2 115 tonnes).



On prépare des trous à mortoises (ou emboîtures) de 10 cm de profondeur par 10 cm de largeur, espacés de 10 cm, soit 7 mortoises réparties régulièrement sur 1,5 m.





La surface d'appui totale est de 0,1 m x 0,1 m x 7 mortoises de surface double = 0,14 m<sup>2</sup>

La pression à appliquer par les mortoises est de :  $2,115 \cdot 10^6 / 0,14 = 15,1 \cdot 10^6 \text{ kg/m}^2 = 1\,510 \text{ kg/cm}^2$

Mortoises en bois Résistance à l'écrasement = env. 50 MPa = env. 500 kg/cm<sup>2</sup>

Mortoises en acier (env. 0,4 % carbone) Résistance à l'écrasement = env. 300 MPa = env. 3 000 kg/cm<sup>2</sup>

Mortoise en bronze (à 7 % d'étain) Résistance à l'écrasement = env. 260 MPa = env. 2 600 kg/cm<sup>2</sup>

Note : chêne 58 MPa, châtaignier 46 MPa, frêne 51 MPa, hêtre 58 MPa, noyer 63 MPa, peuplier 33 MPa.

Il est donc possible d'envisager une ouverture des blocs de granite avec des coins en bronze, mais pas avec des coins en bois. Néanmoins, la taille des trous de mortoises ne peut pas être envisagée sans l'utilisation d'un métal suffisamment dur.



*Trous de mortoises de grande taille, nombreuses et rapprochées*

### Technique du bas-fourneau

Sur Terre, les conditions oxydantes régnant depuis le développement de la Vie font que le fer se présente essentiellement sous sa forme oxydée Fe<sup>3+</sup> et non plus sous sa forme réduite Fe<sup>2+</sup>. Mais dès les époques préhistoriques, le fer météoritique composé de fer réduit a été travaillé par martelage pour fabriquer des outils. Ce fer issu de météorites étant généralement riche en nickel et/ou en chrome, les outils obtenus avaient des propriétés comparables à nos « inox ». Exemple : la dague trouvée dans le tombeau de Toutankhamon (XVIII<sup>e</sup> dynastie, 1 339-1 329 av. JC).

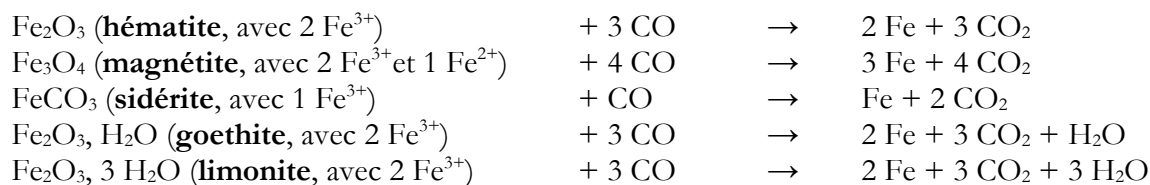
La température de fusion du fer (1 535°C) est supérieure à celle du cuivre (1 084°C). Le terme bas-fourneau fait allusion à la « basse » température atteinte (de 1 000 à 1 200°C) qui **ne permet pas de faire fondre le fer**, par opposition au haut-fourneau qui permet la fusion du fer.

Le **bas-fourneau** (ou fourneau à loupe) est construit en empilant alternativement des couches de minerai de fer et de charbon de bois. L'alimentation en air est latérale, l'évacuation de la fumée se faisant par une cheminée. L'apport en air, et donc en O<sub>2</sub>, peut être augmenté en adossant le fourneau à un talus pour avoir plus de tirage, ou par l'adjonction de soufflets. L'ensemble est recouvert d'une couche isolante : terre, argile, torchis... La combustion doit être maintenue plusieurs heures (de 4 heures pour quelques kilogrammes à plus de 20 heures pour des quintaux). L'accès au produit nécessite la démolition du fourneau.

Le résultat est la récupération d'un bloc métallique spongieux nommé **loupe**. Du fait de la température atteinte, il est possible, dès 900°C d'observer une **réduction du fer** (départ de l'oxygène) : Fe<sup>3+</sup> (fer ferrique) → Fe<sup>2+</sup> (fer ferreux). La combustion du charbon de bois produit du monoxyde de carbone (CO) responsable de la réduction.



Les minerais de fer sont constitués de roches riches en minéraux d'oxydes de fer. Les principaux oxydes de fer sont :



L'apport en carbone à partir du charbon de bois permet d'obtenir un mélange probablement très hétérogène de fer réduit (carbone <0,050 %), de fer au carbone (**acier** de 0,050 à 2,1 % de carbone) et de fonte (de 2,1 à 6,67 % de carbone). L'acier est plus tenace que le fer et moins fragile que la fonte. Classiquement, un bon acier avec les propriétés de dureté et de résilience attendues se trouve entre 0,2 et 1,7 % de carbone.

Le travail au bas-fourneau sera donc suivi par une phase fondamentale de **martelage** et de **cinglage** permettant :

- de retirer les scories contenant les impuretés non désirées,
- d'homogénéiser la teneur en carbone afin d'obtenir un **acier** de la qualité souhaitée.

Si l'on considère que les gisements de minerai de fer comportent quelques impuretés (comme du manganèse, du chrome, du phosphore...), les propriétés de l'acier vont être modifiées et l'on se dirige alors vers de véritables aciers spéciaux.

Les premiers fers qui ont été obtenus par la réduction d'un minerai à l'aide d'un bas fourneau datent du III<sup>e</sup> millénaire av. JC en Anatolie (tombe royale du Hatti, Nord de l'Anatolie). Mais le développement de ce travail est surtout important à partir de la moitié du II<sup>e</sup> millénaire av. JC.

Témoins du travail du fer :

- Fer météorique du VI<sup>e</sup> au IV<sup>e</sup> millénaire.
- Hittites en Anatolie entre 1 000 et 2 000 av. JC.
- Anatolie orientale à la fin du III<sup>e</sup> millénaire dans les écrits de Kültepe (XIX<sup>e</sup> siècle av. JC), Alalakh et Mari). Le fer y est décrit comme valant 8 fois la valeur de l'or.
- Syrie du Nord, piémonts du Taurus, avec minerai et forêts.
- Afrique subsaharienne de la fin du III<sup>e</sup> au I<sup>er</sup> millénaire (2 500 av. JC à Nok au Sahara).

### 3. Lectures

**Raymond PERRIER**

« Les roches ornementales »

Édition Pro Roc, 2004, 703 pages, ISBN 2-9508992-6-9

Pages 27-29

Outils des pierres tendres : pics en pierre dure (dolérite, quartzite, silex). Boules de dolérites des carrières de granite : outils rebutés à l'origine taillés en pointe. Problème de l'efficacité sur un granite de bonne qualité. Il est plus probable que le feu était employé pour écailler et décoherer les grains. Scies à dents de cuivre entraînant un abrasif (sable, émeri). Trépan en tube de cuivre entraînant de l'émeri et de l'eau. Les égyptiens maîtrisaient le travail des pierres dures. Polissage avec des blocs de grès, puis avec de l'émeri (connu à Koptos), travail long puisque partant d'une surface piquée. Forbes (1963) : coins de bois sec, entre deux plaquettes de métal, gonflées avec de l'eau par arrosage. Mise en doute de la pression développée par le gonflement du bois, l'emploi de coin en cuivre ou en bronze paraît plus probable. Frappe avec les boules de dolérite : rendement déplorable. Bessac, Goyon (1987, 1990) : feu de charbon de bois activé par des soufflets. Ce qui permet de détacher des écailles par dilatation thermique différentielle avec séparation des grains du granite dont les coefficients de dilatation diffèrent.



Pages 512-513.

Émeri naturel : sable naturel contenant 35 à 70 % de corindon (oxyde d'alumine, dureté 9), des oxydes de fer et de la silice.

**Bonnie M. SAMPSELL**

« **The geology of Egypt, a traveler's handbook** »

Édition AUC Press, 2003, 2014, 256 pages, ISBN 978-977-416-632-7

Pages 59-62

De nombreuses absurdités ont été écrites sur le travail des roches dures dans l'Égypte antique. Notamment que certaines techniques connues alors ont été perdues. Il n'y a aucune preuve de l'existence de techniques différentes de celles actuellement utilisées. Nombre de granites utilisés n'ont certainement pas été extraits des carrières au sens d'une extraction de blocs directement dans la roche mère. Naturellement des blocs de la taille et de la forme recherchées pouvaient se trouver et être sélectionnés. Les granites à la surface de la Terre sont fracturés par leur fabrique magmatique et l'altération météorique. Les surfaces étaient dressées avec des masses en dolérite, abrasées avec du sable quartique, et coupées en utilisant des scies en cuivre et du sable. Néanmoins le problème se pose pour les blocs de taille plus importante tels que présents dans les pyramides (chambres, toits, obélisques, statues royales). Pour l'obélisque inachevé, des ouvriers utilisaient des masses en dolérite de 4 à 5 kg. Les trous rectangulaires trouvés dans les carrières d'Assouan sont souvent interprétés comme destinés à des coins de bois arrosés d'eau pour gonfler et faire éclater la roche. De récentes expériences montrent que le bois ne permet pas de fendre la roche. Les trous eux-mêmes ont dû être faits en utilisant des outils en fer ou en acier, ainsi que le feront plus tard les Grecs ou les Romains. Deux pièces métalliques étaient placées dans les trous, et le coin introduit entre elles. Ces méthodes d'extraction sont encore utilisées aujourd'hui. Nombre de ces trous vus dans les granites de sites archéologiques ont pu être réalisés à des périodes beaucoup plus récentes.

**Jean-Paul GREMILLIET**

Propos recueillis par Étienne DUCHENE

« **Une carrière** »

Édition l'Atelier de la Mémoire, 2014, 252 pages, ISBN 978-2-915682-36-6

Pages 197-202. Intermède en Égypte, 2002.

« Lorsque la société Clolus fut liquidée, la carrière de rose de la Clarté qu'elle exploitait à Ploumanac'h fut fermée. Pour Mondial Granit, ce fut un coup dur, car il fallait partir très vite à la recherche d'un nouvel approvisionnement. Nous aurions pu nous replier sur le Capão Bonito, en provenance du Brésil, un produit que nous avons commercialisé quelques années auparavant et qui avait marché très fort. Il s'agissait d'un granit exceptionnel, mais qui était devenu trop cher.

Pour éviter des coûts de transport prohibitifs, je portais plutôt mes recherches sur le bassin méditerranéen. J'avais entre-temps trouvé un granit idéal, celui de l'obélisque de la place de la Concorde à Paris... Pas moyen de l'exploiter en faisant un « hubert », il était trop surveillé ! Mieux valait se rendre sur place.

Nous voilà partis en Égypte, où j'étais déjà allé, en touriste. J'y avais été impressionné par les pyramides, le musée du Caire, tous les monuments, et surtout par le travail du granit. J'avais également visité près d'Assouan le site de l'obélisque inachevé.

Des échanges de mails avaient confirmé qu'à cet endroit se trouvait toujours une carrière en exploitation. Nous avons rencontré au Caire la direction générale de l'entreprise exploitant cette carrière, puis nous avons filé jusqu'à Assouan. À quelques kilomètres de l'obélisque inachevé, nous sommes enfin arrivés sur place où, renseignements pris, je fus sidéré d'apprendre que la carrière datait de l'époque des pharaons ! Je fus également sidéré de constater que le remblai produit par l'exploitation était tout bonnement mis de côté, là où il y avait de la place, recouvrant sans vergogne des restes de sarcophages et des sculptures datant de l'époque de Ramsès. Il s'en fallait de peu pour que les méthodes de travail datent de la même époque ! Les conditions étaient épouvantables, le matériel insuffisant, et le granit revenait beaucoup trop cher. Il fallait le descendre par camions sur huit cents kilomètres en longeant le Nil, et le charger à Alexandrie sur un bateau. Autant de ruptures de charge qui obéraient ce produit pourtant très beau. Je n'ai pas donné suite.





Nos hôtes égyptiens nous ont tout de même amenés voir d'autres carrières à la frontière du Soudan, munis de permis de circulation spéciaux parce que nous devons traverser des zones interdites. Nous y avons trouvé quelques blocs qu'ils avaient commencé à exploiter. Nous en avons importé quelques-uns, mais le transport revenait finalement beaucoup trop cher.

Lorsque nous sommes revenus au Caire, nous avons visité l'usine de transformation de cette société, où nous avons repéré un très beau marbre. Ce produit ressemblait comme deux gouttes d'eau à celui que Granite Leader achetait hors de prix dans le sud de l'Espagne pour répondre à la demande en salles de bains et en décoration intérieure. Nous sommes allés voir le lieu d'extraction, situé en plein désert entre Le Caire et le canal de Suez. Une carrière immense, dont les produits étaient livrés dans le monde entier. Nous nous sommes mis sur les rangs et avons importé des tranches de ce marbre d'Égypte, ce qui compensait largement l'échec de la recherche de granit.

On ne peut pas sans conséquences naître et grandir sur un tas de cailloux... Je m'intéressais à tout ce qui concernait, de près ou de loin, les roches et les minéraux. En Égypte, j'étais copieusement servi ! Je n'étais pas seulement impressionné par les monuments eux-mêmes, mais aussi par le génie des hommes qui les avaient érigés. Au-delà, j'étais très intrigué par les méthodes d'extraction et de taille, sachant que la plupart des monuments dataient de plus de mille ans avant notre ère.

J'avais entendu jusque-là de nombreuses théories, dont celle des coins en bois. Je n'y ai jamais cru, parce que, de toute ma vie, je n'ai jamais rencontré un seul carrier capable d'éclater un bloc de granit avec un coin en bois gonflé d'eau ou gonflé par le gel. Malheureusement, cette légende est restée ancrée dans les esprits. Elle vient sûrement de très loin, et pourquoi pas des spéculations faites par les égyptologues ?

Plus sérieusement, autour de l'obélisque inachevé, j'avais remarqué des restes de charbon de bois. Et qui ne provenaient pas des barbecues des touristes ! En parcourant une centaine de mètres, un peu plus loin, le sable redevenait tout blanc, ce qui montrait que le charbon de bois était utilisé uniquement sur le lieu d'extraction, et que par conséquent les carriers, pour éclater la roche, utilisaient le feu. Ils versaient de la braise sur la pierre pour la chauffer le plus fort possible, puis aussitôt la braise écartée, ils y versaient de l'eau. Il se créait immédiatement un choc thermique qui fragilisait la surface qu'on pouvait alors peler avec les outils de l'époque. L'inconvénient du choc thermique est de provoquer des fissures aléatoires, qui se propagent parfois assez loin dans la masse de granit. C'est pourquoi, sur l'obélisque de la Concorde ou sur certaines statues, on voit la pierre s'écailler et s'éroder plus vite à certains endroits.

Pour essayer de convaincre, j'avais ramené de ce voyage quelques échantillons de charbon de bois et je voulais les faire dater au carbone 14. Je voulais aussi faire un écrit, entrer dans le milieu plutôt fermé des égyptologues... Je trouvais chaque fois porte de bois ; avec tous ces pontes, il était impossible d'amorcer un dialogue. J'étais pourtant persuadé d'avoir raison.

Depuis, j'ai vu des reportages où la théorie de la taille par le feu grâce au charbon de bois non seulement est admise, mais est reprise comme une évidence ! D'après les recherches, le bois était de l'eucalyptus, qui poussait en quantité largement suffisante en Égypte à l'époque de Ramsès. L'utilisation du feu étant prouvée, je restais très têtu sur la question du fer, dont j'étais persuadé qu'il était utilisé par les tailleurs de pierre en Égypte, après avoir fragilisé le granit par choc thermique, et à ce sujet j'avais entrepris quelques recherches personnelles.

En 1982, tous les égyptologues ou autres docteurs en archéologie débitaient ce que je considérais comme des sornettes. Ils nous disaient que les Égyptiens taillaient le granit avec des outils en bronze, car ils ne disposaient pas de fer... Comment tailler le granit d'Assouan, une roche très dure, si l'on n'avait pas de fer ? Avec du bronze, c'était impossible. Or sur la carrière de l'obélisque inachevé, entre autres, le granit est piqueté, et l'on voit des traces de mortaises faites par des outils au bout pointu, au fond desquelles on peut remarquer des traces de fer oxydé. Si l'on regarde l'obélisque de Louxor à Paris, on constate que les ciselures sont extrêmement fines. Les Égyptiens ont donc utilisé de très bons outils, certainement en fer, et des carriers qui étaient des experts ! Il est certain qu'à l'époque de Ramsès il n'y avait pas de fer en Égypte, ce qui d'ailleurs handicapait le pharaon dans ses combats contre les Hittites, qui possédaient des armes en fer, et avec lesquels les conflits étaient fréquents. Les gisements de fer des Hittites contenant du carbone, ils arrivaient même à en faire un acier très dur. Les hasards de la guerre et de la diplomatie, et probablement l'intérêt réciproque bien compris des deux parties, amenèrent Ramsès, père de nombreux enfants, à marier une de ses filles à l'un des rois hittites. La paix revint, et cette alliance donna l'accès au fer aux artisans égyptiens.

Restait à expliquer pourquoi, dans les fouilles en Égypte, on ne retrouvait pas de fer. À cette époque, les ouvriers tailleurs de pierre étaient très spécialisés. Ils devaient, comme le faisaient encore il y a peu les ouvriers italiens et



français dans la taille de la pierre, venir au travail avec leur propre caisse à outils et repartir avec une fois le travail terminé. Le fer était un métal précieux ; celui dont on ne se servait plus devait être recyclé, effaçant ainsi les traces de son existence.

Au cours d'une de mes visites touristiques, un égyptologue donnait aux soixante passagers du bus qui nous emmenait d'un site à l'autre des explications sur la taille du granit avec des outils en bronze. Mon sang ne fit qu'un tour. Avec mon sens habituel de la diplomatie, je l'arrêtai tout net : « C'est mon métier, ce que vous dites n'est pas possible. » Il se braqua et répondit : « J'ai fait des études, je sais de quoi je parle. » Ce à quoi je rétorquai : « Les études, c'est bien beau, mais si ce qui est écrit dans vos livres est faux, vous ne faites que répéter les erreurs. On ne taille pas le granit avec du bronze. » Les autres touristes, ébahis, comptaient les points !

Tout de même, je n'avais peut-être pas perdu mon temps, car l'idée fit son chemin. Quelque temps plus tard, Jean Adami, granitier vosgien bien connu, était allé lui aussi en Égypte pour le tourisme. Au retour, il me dit : « Tiens ! J'ai entendu parler de toi ! »

Les outils en fer n'étaient pas seuls à être utilisés. Il est certain que des boules de diorite, une roche plus dure que le granit dont il existe un filon sur les bords du Nil, servaient elles aussi à écraser la pierre. Dans un reportage fait par des Américains, on soutenait que les Égyptiens prenaient ces boules à pleines mains pour frapper le granit. On imagine des hordes d'Égyptiens à quatre pattes en train de frapper le granit avec leur boule tenue à la main... Impossible ! Sauf à mettre des centaines d'années et à mobiliser une armée d'ostéopathes pour leur remettre le dos en place. La solution crevait les yeux ; les exploitants de la carrière avaient dégagé une grande surface verticale qui était auparavant masquée par des gravats. Il y figurait une fresque montrant un Égyptien debout avec une boule fixée sur un manche. C'était pourtant facile à comprendre : l'ouvrier restait debout, soulevait la boule de diorite grâce au manche et la faisait retomber en accompagnant le mouvement, tout simplement !

Toujours au gré de mes voyages, en Turquie, à Rome et en Sardaigne, j'avais repéré du granit provenant d'Égypte. Un granit plus clair d'Assouan, qui avait servi à constituer des milliers de colonnes aux époques grecque et romaine. Il y a deux sites pour ce granit : le Mont Claudianus, et le Mont Porphyrites, situés en plein désert entre Assouan et la Mer Rouge. Le Mont Porphyrites est constitué de rhyolite, une roche volcanique de couleur rouge, avec laquelle on a fait de nombreuses statues qui trônent aujourd'hui dans les musées. Une roche très dure, plus dure à travailler que les granits. Lorsque j'ai voulu m'y rendre, je me suis aperçu que les guides ne connaissaient pas du tout cet endroit. Cependant, nous avons rencontré un Targui, qui possédait un 4x4, et qui me dit que son grand-père avait travaillé là-bas dans les mines d'or exploitées par les Anglais. Il nous y emmena. Sur la route principale, nous avons trouvé un site appelé le puits des Grecs, un point d'eau précieux en plein désert. Nous sommes enfin tombés sur le Mont Claudianus, où se trouvait une carrière et à proximité un camp grec, qui fut ensuite utilisé par les Romains. Tout était encore en place, y compris le village et les citernes d'eau remplies grâce à l'eau tirée du puits des Grecs et amenée par des canalisations. Nous avons l'impression que les ouvriers de la carrière étaient partis la veille ! Nous avons trouvé des restes d'objets en bronze et de lampes à huile.

Dans la carrière, sur un immense espace, on pouvait reconstituer la façon dont les Égyptiens travaillaient avec les mortaises. C'étaient eux qui fournissaient les Grecs, puis les Romains. Nous avons pu voir une colonne de deux mètres cinquante de diamètre et d'une dizaine de long, et le plan incliné pour la descendre en la retenant avec des cordes grâce à des bosselages laissés sur la surface de la colonne pour que les cordes ne glissent pas.

Le problème du transport n'était pas résolu pour autant. Comment faire quatre-vingts kilomètres dans le sable du désert ? Il y avait en fait un ancien port juste en face, au bord de la Mer Rouge. Et si l'on regarde attentivement la cartographie de la région par des vues provenant de satellites, on s'aperçoit que bien avant Ferdinand de Lesseps, un canal était creusé depuis les bords de la Mer Rouge jusqu'à Alexandrie. »

**Albert KAMMERER**

« Un voyage aux carrières des pharaons »

Revue de France, n° 7, 1924.

« C'est surtout dans le pays de Rohannou que se trouvaient les carrières de granit des Pharaons. Sur quelques centaines de mètres seulement s'échelonnent les extractions antiques de pierre sombre, granit noir et schiste gréseux dont les anciennes dynasties égyptiennes ont fait si grand usage pour leurs statues divines. On trouve encore en place, dans une enceinte du temple de Mout à Karnak, récemment déblayé, des centaines de statues en





diorite noire, grandeur humaine, de Sekhmet, la Déesse à tête de lionne. Les granits rouges qui ont servi à la construction des temples géants et à la production des colosses de Thèbes et de Karnak, venaient plus spécialement des carrières de Syène ; mais on trouve aussi au Rohannou un beau granit vert sombre. Sur le sol étroit, obstruant presque le passage, se voient encore les restes des murs bas délimitant les abris des ouvriers dont les chambres sont restées tracées sur le sol. Partout les hautes falaises de brèche verte et noire sont entamées. Des parois considérables de la montagne paraissent avoir été basculées des sommets et s'être entassées dans leur chute.

La roche schisteuse qui porte dans les hiéroglyphes le nom de Bekken, fort recherchée par les rois, notamment pour façonner les couvercles de leurs sarcophages, se trouve non sous la forme d'une masse homogène et compacte dont l'extraction eût nécessité des tranchées, mais sous celle de blocs variables, présentant de longues failles verticales et formant en quelque sorte des piliers naturels irréguliers fissurés en long et en large. On comprend qu'un effort relativement faible ait suffi à les séparer de leur paroi : afin d'éviter les éboulements, le travail était entrepris vers le haut de la falaise et les blocs précipités le long de ses pentes presque à pic. Rares étaient ceux qui arrivaient intacts au bas de cette descente vertigineuse. Sous Amenemhat III, un fonctionnaire plus habile eut l'idée d'opérer la descente sur un plan incliné, ce qui permit de sauver de la destruction de nombreux blocs. Une fois ces blocs descendus par ces procédés élémentaires, ils étaient dégrossis et réduits à la grandeur approximative de la statue à laquelle on les destinait. Il fallait les façonner, les alléger autant que possible pour leur faire franchir la distance considérable qui les séparait du fleuve. Par terre, à certaines places, des fragments de cuves, des sarcophages inachevés ou brisés montrent qu'on devait compter avec un large déchet de production. Certains blocs cependant ont été taillés directement dans le roc. Il s'en trouve qui portent encore la marque du procédé par lequel ils ont été séparés de la paroi rocheuse : des incisions profondes au ciseau formant une sorte de pointillé en ligne droite au fond desquelles étaient insérées, par force, des chevilles en bois très sec qu'on arrosait ensuite pour en provoquer le gonflement. Une fois terminée l'extraction, il fallait assurer encore le transport de ces mastodontes jusqu'au Nil, à travers 100 km de désert et sans le secours des rouleaux de bois. Le dépouillement des inscriptions montre que l'on n'employait à cet usage ni chars ni appareils de levage. Le bois de palmier est spongieux et flexible; il est impropre au transport des matières lourdes. On se contentait donc de traîner sur le sol mou du désert, par l'effort naturel des bras fournis en nombre suffisant, ces formidables monolithes, qui s'y enfonçaient littéralement. Au mont Claudianus, situé plus au nord, dans le même désert oriental, mais exploité par les Romains, les blocs n'étaient pas précipités du haut de la falaise dans le fond de la vallée, ni descendus par des plans inclinés. On y employait un procédé original et que des travaux inachevés ont permis de saisir sur le vif. Une véritable route solidement empierrée et de plusieurs mètres de large, serpentait au flanc de la montagne, reliant le val proprement dit à la carrière située sur la hauteur. Tous les 8 ou 10 mètres se trouvent encore intacts de chaque côté de la route, en alternance, des sortes de pylônes ou champignons, des embossoirs en larges pierres sèches d'un mètre de haut. Ce curieux appareillage, unique en son genre, servait de toute évidence, en l'absence de rocher permettant une prise sur la montagne, à amarrer les lourdes pierres pour les retenir dans leur descente vers la vallée. Au fur et à mesure de la progression, les amarres passaient de l'embossoir supérieur à celui qui le suivait immédiatement. En effet, l'on trouve au bord de cette route, et à une grande hauteur sur la vallée, une colonne colossale monolithe d'une quarantaine de mètres de long. Elle gît entièrement terminée, mais brisée en plusieurs segments. Cet accident s'est produit sans doute en cours de transport. Des sortes de bourrelets de pierre avaient été réservés sur le haut de la colonne pour servir de retenue aux amarres et devaient être rognés une fois cette dernière arrivée à destination. »

**Jean BESANCON**

« Les ressources du sous-sol en Egypte »

**Annales de Géographie, t. 63, n°338, 1954, pp. 313-314.**

« Le minerai de fer n'est pas absent, et à quelques kilomètres d'Assouan, sur le plateau oriental, un gisement d'oxyde de fer de quelques centaines de millions de tonnes de réserves et doté d'une haute teneur (voisine de 60 p. 100) a été mis à jour. D'autres gisements ont été relevés sur les bords de la mer Rouge, dans le voisinage de Kosséir. »



Louise Marie DIOP-MAES

« La question de l'Âge du fer en Afrique »

ANKH Revue d'Égyptologie et des Civilisations africaines, n°4/5, 1995-1996, pp. 278-303.

p. 279

« La métallurgie du fer est apparue en Afrique occidentale vers 2 800 BC, voire plus tôt. (...) Le fer trouvé en Asie et en Nubie est trop tardif pour expliquer la présence en Égypte, de quelques échantillons de fer de gisement, datant de l'époque des pyramides (XXVII<sup>e</sup> siècle BC), alors que l'Égypte est dépourvue de ce minerai. Il n'est pas impossible que le fer soit venu du Soudan occidental et central par l'Ennedi (HUARD), dans le cadre d'un réseau d'échanges très étendu, quand le Sahara était moins désertique. »

p. 281

« Les populations noires vivant jadis au Sahara, et ultérieurement soumises par les musulmans arabo-berbères dans les oasis et les massifs montagneux, ont très bien pu constituer alors, et alors seulement, ces « castes méprisées » de forgerons, comme les Haddads, mais qui connaissaient, probablement depuis de nombreux siècles, le travail du fer. D'autre part, rappelons ici que les « Haratins » ne sont pas seulement des esclaves noirs amenés là par des caravaniers et trafiquants d'esclaves, mais représentant aussi, peut-être surtout, un peuplement résiduel du Sahara néolithique, humide et négroïde. »

p. 283

« Concernant l'âge de la métallurgie du fer au Nigéria, Basil DAVIDSON signale dans son ouvrage « l'Afrique avant les blancs » que quatre fragments de charbon de ces étages de Nok ont révélé au radio carbone des datations d'environ 3 500, 2 000, 900 BC et 200 AD. »

p. 291-292

Citation de Cheikh Anta DIOP : « L'usage du fer de minerai, par opposition au fer météorique, est attesté en 2 600 avant JC en Egypte, par plusieurs spécimens de fer doux (« La métallurgie du fer sous l'ancien Empire égyptien », Bulletin de l'IFAN, t. XXXV, série B, n°3, pp. 532-547). (...) Donc, qui a fabriqué du fer doux est passé par l'acier ; tel était le cas des Egyptiens des pyramides, tel est aussi le cas du forgeron de l'Afrique noire. (...) Le forgeron affineur qui, par un réchauffage et un martelage approprié de la fonte, réduit le carbone jusqu'au taux voulu correspondant au type d'acier ou de fer désiré ; son travail équivaut à celui réalisé dans un convertisseur Bessemer, où l'on réduit la fonte en acier. L'acier ne sort donc jamais d'un haut fourneau, ce serait trop beau ; il est l'œuvre du forgeron affineur. (...) La maîtrise de la métallurgie du fer par les Égyptiens 2 600 BC est attestée ; à l'époque, ce fer ne pouvait pas provenir de l'Orient, l'Égypte n'ayant pas de minerai de fer, celui-ci ne pouvait venir que de la Nubie et du reste de l'Afrique noire. (...) Les forgerons fondeurs modifiaient leurs fours et leurs procédés selon les nécessités et les circonstances (qualité et nature du minerai, usage auquel la matière à sortir du fourneau est destiné ...). »

p. 294

Dans les conclusions : « Des échantillons de fer doux, non météorique, datent, en Égypte, de 2 600 BC environ (époque des pyramides), alors que l'on ne trouve pas de mines de fer en Égypte. (...) Des réseaux d'échanges étendus existaient au III<sup>e</sup> millénaire BC (rappelons sur ce point les quatre expéditions conduites par l'Égyptien HERKOUF au XXIV<sup>e</sup> siècle BC), ce qui rend possible un commerce du fer entre les différentes régions de l'Afrique. Le fer a pu arriver en Égypte à partir du Soudan occidental et central par l'Ennedi. »

p. 295-296

Citation de Cheikh Anta DIOP (« La métallurgie du fer sous l'ancien Empire égyptien », Bulletin de l'IFAN, t. XXXV, série B, n°3, pp. 532-547) : « Le vendredi 26 mai 1837, pendant que le colonel Howard VYSE poursuivait ses recherches archéologiques en Basse-Égypte, un de ses collaborateurs M. HILL découvrit un morceau de fer, dans les joints intérieurs de la maçonnerie, sur la face sud, près de l'orifice du canal d'aération de la grande pyramide. Il résulta de l'examen minutieux fait immédiatement par les inventeurs eux-mêmes que l'endroit où la pièce fut trouvée était resté intact jusque-là, n'avait jamais été violé auparavant. (...) Les Égyptiens avaient déjà maîtrisé la technique métallurgique d'extraction du fer à partir du minerai, et utilisait celle-ci pour





fabriquer non pas des objets votifs ou magiques mais des outils pour travailler dans la vie quotidienne ; l'instrument trouvé dans les interstices de la grande pyramide est une houe. (...) Un autre échantillon de fer de minerai formant un bloc trouvé à Abydos, VI<sup>ème</sup> dynastie (2 500 av. JC), a été authentifié par M. Ch. HAWKES. (...) Les archéologues et les historiens occidentaux tiennent à distinguer, en ce qui les concerne, deux périodes au moins dans l'histoire de la métallurgie du fer : puisque l'invention du procédé d'extraction du métal à partir du minerai est incontestablement africaine et égyptienne, on valorise une seconde étape, celle de la production « en quantité appréciable » dont le mérite reviendrait aux Hittites, « mérite » c'est bien le terme qui convient pour résumer les préoccupations de « nos » archéologues. En tout cas, en 2 700 avant JC les Hittites n'existaient même pas encore en tant que peuple dans l'histoire. »

**Pierre CROZAT**

« Le Génie des Pyramides »

Thèse, Institut Polytechnique de Lorraine, École des Mines de Nancy, 2002, 312 p.

p. 209-210








«La question des « outils de fer », posée par le texte d'Hérodote, est toujours sujet à polémique entre égyptologues (Mauny 1952 ; Leclant 1956) et certains pré-historiens Le Génie des Pyramides, Pierre Crozat, 2002 - 210 - extérieurs (Lhote 1952 ; Diop 1973, 1976 ; Mohen 1990, 2001). Citons un passage du livre « Aux origines de la métallurgie du fer en Afrique » Une ancienneté méconnue. Afrique de l'Ouest et Afrique centrale, Ed. UNESCO 2002 : (p. 190)« Remarquons que les dates obtenues à Égaro permettent de considérer comme possible l'origine ouest-africaine des quelques échantillons de minerai de fer trouvés en Égypte et datant de l'Ancien Empire (2 565-2 181 av. J.-c.)(attesté par J-P. Mohen), d'autant qu'en Mésopotamie et en Anatolie, les dates sont comprises entre 2 450 et 2 100 av. J.-c., sauf à confirmer celle de Samarra. Notons que les vestiges de fer sont généralement rouillés. » Il serait pour le moins « cocasse » mais cependant lourd de conséquence – d'autant plus qu'un texte du Fayoum récemment déchiffré, et datant de 3 500 avant J.-C., atteste que les Égyptiens savaient alors extraire le fer du minerai. - que J-P. Mohen, Cheik Anta Diop, Henri Lhote finissent par se faire entendre, démontrant ainsi qu'Hérodote avait raison, là aussi. »



*Pyramides de Gizeh*



Raymond O. FAULKNER  
 « Dictionnaire Faulkner »  
 www.projetrosette.info

 <p>Ouvriers travaillant la pierre</p>	 <p>Tailleur de pierre</p>	 <p>Cuivre</p>
 <p>Fer</p>	 <p>Bronze, améthyste</p>	 <p>Sculpter, ciseler, graver</p>
 <p>Pic, hache, herminette</p>	 <p>Ciseau de sculpteur</p>	 <p>Grand vase en granite</p>
 <p>Carrière de pierre</p>	 <p>Carrière de pierre</p>	 <p>Pierre (gneiss) d'Ibhet</p>
 <p>Pierre, rocher, bloc</p>	 <p>Réceptient en pierre</p>	 <p>Lourd bloc de pierre</p>
 <p>Sorte de pierre, quartz</p>	 <p>Pierre verte, malachite</p>	 <p>Pierre dure, grès, quartzite rouge</p>
 <p>Grès silicifié, quartzite</p>	 <p>Carrière</p>	 <p>Carrier</p>
 <p>Carrière, mine</p>	 <p>Mine, carrière</p>	 <p>Bloc de pierre</p>
 <p>Lingot de métal</p>	 <p>Pain</p>	 <p>Désert</p>





## Conclusion

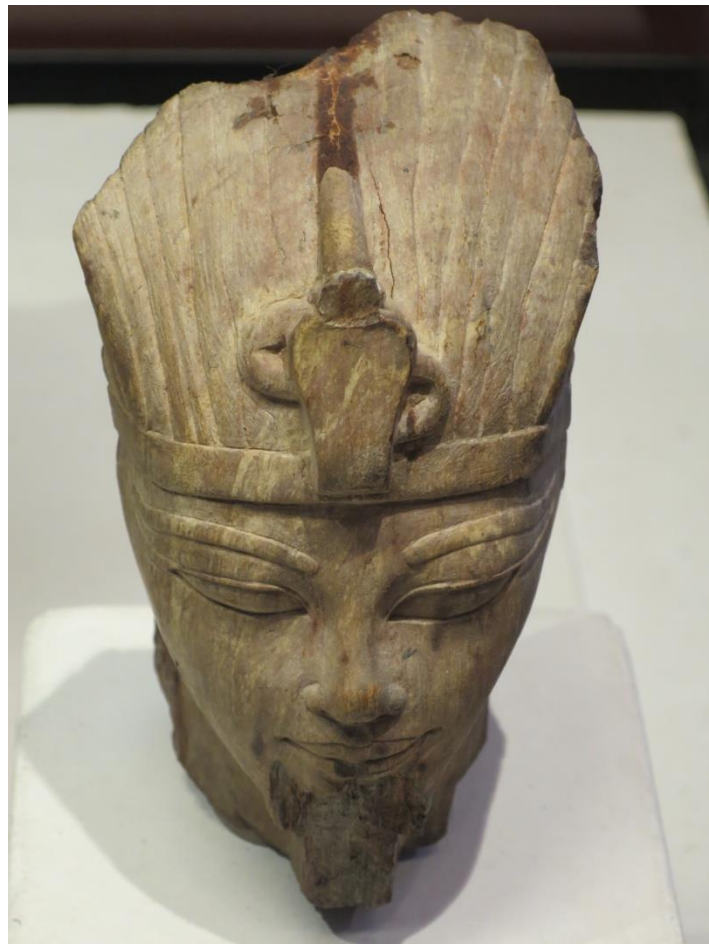
Le territoire de l'Égypte ancienne est riche d'une variété pétrographique allant des roches sédimentaires (grès et calcaires) aux roches métamorphiques (gneiss et migmatites) en passant par les roches magmatiques plutoniques (granites, granodiorites, dolérites et diorites) et volcaniques (basaltes, andésites). Malheureusement nous avons constaté que l'outil pétrographique avait été bien trop peu mis au service de l'égyptologie. La fracturation développée lors des différentes orogénèses découpe les massifs de roches dures selon des réseaux de failles et de diaclases. Le carrier égyptien, dès les premières dynasties, a donc pu choisir des blocs déjà partiellement dégagés ou déchaussés, selon ses critères de dimensions et de morphologie. L'extraction nécessitait parfois plus que le simple prélèvement de blocs choisis. Nous proposons que la technique des mortoises (ou emboîtures) ait pu être développée dès lors. Soit en frappant des mortoises à la dureté élevée (en acier) pour créer et propager un train d'ondes de choc qui fendent le bloc, soit éventuellement en utilisant des mortoises plus tendres (bronze) insérées ou non entre des gailles et en développant un foyer dans des rigoles afin de provoquer une dilatation du métal exerçant une pression suffisante pour ouvrir le bloc. Cette dernière hypothèse est néanmoins difficile à tenir, du fait de la présence de telles structures à la verticale... Dans les deux cas, il était indispensable de creuser les trous de mortoises (souvent nombreux et rapprochés) et donc de disposer d'un métal à la dureté suffisante : seul un acier trempé semble être à même de réaliser cette fonction.

Encore plus impressionnante est la capacité des anciens tailleurs égyptiens à sculpter dans le granite les textes hiéroglyphiques avec une précision et une finesse remarquables. Le bloc devait d'abord être purgé de la couche d'altération créée soit par les conditions climatiques, soit par le façonnage par attaque au feu utilisant la dilatation différentielle des minéraux de la roche et la transformation allotropique du quartz. De la même façon que pour découper et extraire des monuments de grande taille (obélisques, poutres de décharge des pyramides, statues...), la technique du feu au charbon de bois était maîtrisée : quantité et qualité du charbon, intensité de chauffe, temps de séjour sur la roche... La roche, fragilisée par la décohésion de ses minéraux, pouvait ensuite être percutée avec des boules de dolérite (un microgabbro) pour décaper une épaisseur programmée. La répétition de ce processus permet effectivement une progression rapide du formage. Les faces des blocs pouvaient alors être surfacées et polies (ou seulement adoucies) avec des martins en grès quartzique de différentes granulométries représentées dans les roches détritiques du Crétacé couvrant une grande partie de l'Égypte. Ce travail de polissage au grès existait encore il y a peu dans les ateliers d'Idar-Oberstein en Allemagne. Le polissage final, ou brillant, était réalisé au plomb, technique qui a perduré encore jusqu'à récemment par exemple dans les Vosges. Enfin, les hiéroglyphes étaient sculptés en creux dans la roche saine. Les traces visibles aujourd'hui montrent l'usage d'un outil de type pointe façonné dans un matériau à la dureté élevée pour pouvoir réaliser l'extrême finesse des motifs.

La disponibilité d'un minerai de fer est avérée en Égypte ancienne : soit dans les gisements du socle cristallophyllien ancien du désert oriental et de Nubie, soit encore au sein des grès rouges du Crétacé (hématite, goethite, limonite). Mais il est aussi possible d'envisager d'autres sources de fer, plus loin dans le continent africain. Nous proposons que la technique du bas fourneau ait été utilisée dès le III<sup>e</sup> millénaire, voire au IV<sup>e</sup>, par les métallurgistes égyptiens pour produire par forgeage des outils en acier indispensables à la réalisation des monuments et des œuvres des premières dynasties (de la I<sup>re</sup> à la VI<sup>e</sup>). À la suite des modifications climatiques dues à la diminution des moussons de l'océan Indien (entre 4 400 et 3 300 av. JC), il y a eu une progression de l'aridité imposant aux tribus et peuplades du grand Nord-Est africain un déplacement en direction d'une zone sous l'influence directe du Nil. Ainsi, des populations d'horizons différents se sont plus ou moins assemblées, mettant en commun leur savoir-faire, pour générer très rapidement une civilisation techniquement évoluée comme les objets en roches dures de la culture de Nagada nous le montrent (de 3 900 à 3 150 av. JC), passant ainsi directement de l'Âge de la Pierre à l'Âge du Fer.



Palette de la 1<sup>re</sup> dynastie (Semerkhet II : 2 975-2 965 av. JC) réalisée dans une diorite. Le piquage de fond comme le piquage de détournement sont nettement visibles. Le piquage de fond doit être effectué avec un outil de type pointe possédant une dureté élevée, comme un acier trempé. Un outil de dureté moindre, comme du bronze, serait immédiatement émoussé et ne laisserait pas de traces d'impacts tels qu'observés sur ce bloc.



*Bois silicifié - Louvre*