

EXPERIMENTS IN EGYPTIAN ARCHAEOLOGY



Stoneworking technology in Ancient Egypt

Denys A. Stocks

**Also available as a printed book
see title verso for ISBN details**

EXPÉRIENCES EN ÉGYPTIEN
ARCHÉOLOGIE

PDF téléchargé par House Of Books

Pour plus de livres sur l'Égypte, veuillez visiter notre page et groupe Facebook

<http://www.facebook.com/groups/per.medjat>

<http://www.facebook.com/per.medjat>

EXPÉRIENCES DANS ÉGYPTIEN ARCHÉOLOGIE

Technologie de travail de la pierre
dans l'Égypte ancienne

Denys A. Actions

 **Routledge**
Taylor & Francis Group
LONDON AND NEW YORK

Première publication 2003

par Routledge

11 New Fetter Lane, Londres EC4P 4EE

Publié simultanément aux États-Unis et au Canada

par Routledge

29 West 35th Street, New York, NY 10001

Routledge est une empreinte du groupe Taylor & Francis Cette

édition publiée dans la Taylor & Francis e-Library, 2004.

© 2003 Denys A. Stocks

Tous les droits sont réservés. Aucune partie de ce livre ne peut être réimprimée ou reproduite ou utilisée sous quelque forme que ce soit ou par tout moyen électronique, mécanique ou autre, maintenant connu ou inventé ultérieurement, y compris la photocopie et l'enregistrement, ou dans tout système de stockage ou de récupération d'informations, sans autorisation écrite.
de la part des éditeurs.

Données de catalogage avant publication de la British Library

Une notice de catalogue pour ce livre est disponible à la British Library

Données de catalogage avant publication de la Bibliothèque du Congrès

Actions, Denys A. (Denys Allen), 1941–

Expérimentations en archéologie égyptienne : technologie du travail de la pierre en

Égypte ancienne / Denys A. Stocks

p. cm.

Comprend des références bibliographiques et un index.

1. Bâtiment, Pierre–Égypte–Histoire. 2. Taille de pierre–Égypte–Histoire.

3. Architecture, Égypte ancienne. 4. Égypte–Antiquités. I. Titre.

TH117.S76 2003

693'.1'0932–dc21

2003041383

ISBN 0-203-43023-9 Master e-book ISBN

ISBN 0-203-34053-1 (format Adobe eReader)

ISBN 0-415-30664-7 (édition imprimée)

[*http://www.facebook.com/per.medjat*](http://www.facebook.com/per.medjat)

À MA FEMME, CAROL, ET À MON FILS JEFFREY,
IAN ET PAUL

[*http://www.facebook.com/groups/per.medjat*](http://www.facebook.com/groups/per.medjat)

[*http://www.facebook.com/per.medjat*](http://www.facebook.com/per.medjat)

[*http://www.facebook.com/groups/per.medjat*](http://www.facebook.com/groups/per.medjat)

CONTENU

<i>Liste des tableaux</i>	xii
<i>Liste des figures</i>	xiii
<i>Avant-propos</i>	xxi
Remerciements	xxiii
<i>Liste des abréviations</i>	xxv
<i>Chronologie prédynastique et dynastique</i>	xxvii
<i>Carte de l'Egypte</i>	xxxii
introduction	1
PARTIE I	
Savoir-faire et outils : des industriels en herbe	5
1 L'artisanat : moteur de l'industrie	7
<i>Artisanat : l'esprit avant la matière 7</i>	
<i>Outils, matériaux et artefacts importants : un bref aperçu 10</i>	
<i>Les expériences et leur interprétation 21</i>	
2 La pointe de la technologie	25
<i>Outils coupants cuivre et bronze 25</i>	
<i>Un cluster de fours : la clé de l'expansion industrielle 34</i>	
<i>Le martelage : l'art de façonner avec force 43</i>	
<i>Entrez dans la proue : un dispositif de transmission de puissance 50</i>	
<i>Outils coupants pour le cuivre et le bronze : fabrication expérimentale et essais de dureté 56</i>	
<i>Couper ou ne pas couper, tel est le problème 63</i>	

3 Un silex pour toutes les saisons	74
<i>Quelques témoignages sur le travail des pierres dures</i>	
<i>74 Silex et chert : une brève description 81</i>	
<i>Les expériences avec les outils en silex 83</i>	
<i>Outils à conserver : outils à jeter 95</i>	
PARTIE II	
Grands prêtres de l'industrie : l'influence de l'État sur la technologie	101
4 Les technologues abrasifs	103
<i>Flore et connexions technologiques 103</i>	
<i>Abrasifs et métaux utilisés pour le sciage et le tubulaire forage de pierre 105</i>	
<i>Le milieu sablonneux en Egypte : effets sur l'activité humaine 109 Forage de pierres avec tubes de roseaux 111</i>	
<i>Le cuivre : un nouveau matériau pour un usage ancien 112</i>	
<i>La construction et l'utilisation des scies expérimentales de Manchester et forêts tubulaires 116</i>	
<i>Les expériences de sciage et de forage d'Assouan 129</i>	
<i>Discussion 135</i>	
5 Fabrication de vases en pierre	139
<i>Vases de pierre par milliers 139</i>	
<i>La preuve de la tombe pour la fabrication de vases en pierre 142 Analyse de la preuve picturale 147</i>	
<i>Un outil de fixation pour forêts hélicoïdaux/inversés 149 Forêts hélicoïdaux/inversés reconstruits 150 Les tests de forêts hélicoïdaux/inversés 152</i>	
<i>Fabrication de vases en pierre dans l'ancienne Mésopotamie 155</i>	
<i>Fabrication d'un vase en calcaire en forme de tonneau 155</i>	
<i>Discussion 165</i>	
6 Le développement de la fabrication de sarcophages en pierre	169
<i>Façonnage des sarcophages en pierre : outils et techniques de décoration de surface 169</i>	
<i>Creusement de l'intérieur des sarcophages en pierre dure 172</i>	
<i>Débat 175</i>	

7 Maîtres installateurs en maçonnerie	179
<i>Outils de maçon 179</i>	
<i>Quelques problèmes rencontrés par le maçon 183 Le jeu de tiges et de ficelle de Kahun 187 Quelques utilisations anciennes des tiges et de la ficelle 189 Assemblage de deux blocs mégalithiques : une proposition 191 Frottement et force : la physique à la rescousse 194</i>	
PARTIE III	
Révolution industrielle dans l'Égypte ancienne	201
8 outils de production de masse thébains	203
<i>Premières techniques de fabrication de perles 203</i>	
<i>Six tombes du Nouvel Empire dans la nécropole thébaine 208 Interprétation des illustrations 209</i>	
<i>Fabrication des outils reconstitués 213</i>	
<i>Perçage expérimental 216</i>	
<i>Discussion des résultats expérimentaux 221</i>	
9 Sous-produits d'une époque révolue	225
<i>Matériaux dérivés modernes 225</i>	
<i>Faïence ancienne : une brève description 225 Faïencerie expérimentale 227 Discussion 229</i>	
10 Interrelations techniques anciennes	234
<i>Outils et procédés interconnectés 234</i>	
<i>Problèmes de santé signalés des artisans 237</i>	
<i>Synthèse finale 238</i>	
<i>Glossaire des termes techniques</i>	240
<i>Bibliographie</i>	249
<i>Sources des chiffres</i>	256
<i>Indice</i>	258

[*http://www.facebook.com/per.medjat*](http://www.facebook.com/per.medjat)

[*http://www.facebook.com/groups/per.medjat*](http://www.facebook.com/groups/per.medjat)

LISTE DES TABLEAUX

1.1 Liste des types de pierre et dureté Mohs	17
2.1 Burins coulés en cuivre et en bronze	57
2.2 Tubes coulés, forets, scies, herminettes, haches, pointes, coins, forets à bois et poinçons en cuivre et en bronze	58
2.3 Artefacts fabriqués à partir de cuivre produit commercialement	59
2.4 Certains burins en cuivre, bronze, bronze au plomb et acier recuits et trempés au marteau - essai de dureté de la pyramide Vickers	61
4.1 Rapports et taux de coupe des tubes Reed	112
4.2 Rapports et taux de coupe de la scie Manchester en cuivre et en bronze et des tubes entraînés par arc - moyenne de toutes les expériences	115
4.3 Scie à cuivre d'Assouan et données de coupe de tubes dans le granit rose	115
4.4 Gravités spécifiques de certaines pierres égyptiennes	117
4.5 Rapports et taux de coupe expérimentaux en acier doux (fer forgé)	117
4.6 Quantités moyennes de sable consommées par les scies à cuivre et les tubes de forage expérimentaux	118
4.7 Pourcentages moyens indiqués (en poids) du sable, de la pierre et du cuivre dans les déchets en poudre	126
8.1 Résultats de perforation de l'échantillon	205
9.1 Analyses du noyau expérimental et de la glaçure	230

[*http://www.facebook.com/per.medjat*](http://www.facebook.com/per.medjat)

[*http://www.facebook.com/groups/per.medjat*](http://www.facebook.com/groups/per.medjat)

LISTE DES FIGURES

1.1 La pyramide à degrés de la troisième dynastie à Saqqarah	9
1.2 Blocs de noyau de calcaire dans la pyramide à degrés, en forme de brique de boue	9
1.3 Feuilles de palmier sculptées dans un chapiteau de colonne en pierre	dix
1.4 Une hache à main en basalte prédynastique	11
1.5 Une foreuse tubulaire en cuivre reconstruite montée sur un arbre en bois	13
1.6 Les immenses statues de Ramsès II à Abou Simbel, en Haute-Égypte, taillées dans le grès rouge	14
1.7 Temple de la dix-huitième dynastie d'Hatchepsout à Deir el-Bahri, Haute-Égypte	14
1.8 Pyramide de la quatrième dynastie de Khéops sur le plateau de Gizeh	15
1.9 Pyramide de Khafré à Gizeh	16
1.10 Un atelier de fabrication de perles de la XVIIIe dynastie à Thèbes, en Haute-Égypte. De la tombe de Sebekhotep (BM 920)	18
1.11 A Grattoir prédynastique en silex	19
2.1 Deux répliques d'herminettes en cuivre (en bas et deuxième à partir du haut), une scie à bois dentelée en cuivre (deuxième à partir du bas) et une hache en cuivre de forme ronde, avec pattes de fixation (en haut). L'outil du milieu est une scie à cuivre à tranchant plat d'essai	26
2.2 Ouvriers de la XIIe dynastie brandissant des haches à manche. De la tombe de Pepionkh à Meir	26
2.3 Les formes du ciseau plat (en haut) et du ciseau à coupe transversale (en bas) se rétrécissent	27
2.4 Un ciseau à coupe transversale en cuivre de Kahun (à partir de MM 204)	28
2,5 Un ciseau en cuivre muni d'un manche en bois de Kahun (d'après MM 194a)	28
2.6 Une réplique d'un ciseau à bois	29
2.7 Un maillet entraînant une réplique de ciseau à bois	29
2.8 Une réplique de maillet	30
2.9 Une lame d'herminette à collet, qui aidait à la fixer à un manche en bois (d'après MM 203)	30
2.10 Une réplique d'herminette en cuivre	31

2.11 Une grande réplique de lame d'herminette	31
2.12 Deux ouvriers perçant un trou dans un cadre de lit. De la tombe de Rekhmire à Thèbes	33
2.13 Une réplique d'arc et une perceuse à bois	34
2.14 Moule pressé dans du sable humide pour couler une scie à lame plate	35
2.15 Moulage d'une lame de scie en cuivre à tranchant plat dans un moule à sable ouvert	35
2.16 A lame d'herminette en cuivre coulé	36
2.17 Une lame de scie à bois en cuivre coulé	36
2.18 Un moule en pierre expérimental pour couler un ciseau	36
2.19 Une éventuelle construction d'un ancien four de fusion	37
2.20 Chalumeaux des anciens fourneaux. De la tombe de Pepionkh à Meir	38
2.21 La sarbacane reconstituée	39
2.22 Un bijoutier de la XVIIIe dynastie au travail. De la tombe de Rekhmire à Thèbes	39
2.23 Soufflet de pied de la XVIIIe dynastie en fonctionnement. De la tombe de Rekhmire à Thèbes	40
2.24 Coulée d'une porte en bronze de la XVIIIe dynastie. De la tombe de Rekhmire à Thèbes	41
Tête de hache en cuivre 2,25 A de Kahun (de MM 201)	41
2.26 Withies expérimentales tenant un creuset en argile	42
2.27 Marteler un sphinx en calcaire et une table d'offrande avec des marteaux sphériques en pierre. De la tombe de Rekhmire à Thèbes	44
2.28 Batre une coulée de scie en cuivre reconstruite pour la façonner sur une enclume en pierre avec un marteau en pierre	45
2.29 Batre du cuivre sur une enclume de pierre montée sur un bloc de bois. De la tombe de Rekhmire à Thèbes	45
2.30 Batre un vase en métal pour le façonner à l'aide d'une enclume tripode. De la tombe de Rekhmire à Thèbes	45
2.31 L'enclume tripode reconstituée	46
2.32 Démonstration de l'enclume tripode, ajustée pour une utilisation avec un grand navire	46
2.33 Démonstration de l'enclume tripode, ajustée pour être utilisée avec un petit navire	47
2.34 Trois répliques d'aiguilles en cuivre dynastiques et une réplique en cuivre prédynastique	47
2.35 Une foreuse pointue en bronze	48
2.36 Raclage d'une dépression dans une aiguille de cuivre recuit avec un outil en silex	48
2.37 Un trou percé dans la tête d'une aiguille en cuivre recuit	49
2.38 Aiguiser la pointe d'une aiguille trempée au marteau sur un morceau de grès lisse	49
2.39 Un maroquinier perce une sandale avec un poinçon. De la tombe de Rekhmire à Thèbes	50

2.40 Couper une longue lanière d'une peau. De la tombe de Rekhmire à Thèbes	50
2.41 Un arc en forme de « coude » entraînant une perceuse à bois. De la tombe de Rekhmire à Thèbes	50
2.42 Une réplique d'arc en forme de «coude» entraînant une perceuse à bois	51
2.43 Un dispositif de retordage de fil de la XVIIIe dynastie. De la tombe de Rekhmire à Thèbes	52
2.44 Équipement de fabrication de feu de la douzième dynastie (à partir de MM 63-6)	53
2.45 Fabrication de feu expérimentale avec un exercice d'incendie reconstitué	53
2.46 La crosse Kahun avec son chapeau d'appui en bois (à partir de MM 23)	54
2.47 La fin carbonisée de l'exercice d'incendie expérimental	55
2.48 Le four de l'auteur pour fondre le cuivre et le bronze	55
2.49 Le four en fonctionnement	56
2.50 Martelage d'un moulage en bronze dans un ciseau	60
2.51 Une coulée de bronze fracturée causée par un martelage extrême	61
2.52 Marques d'essai de dureté sur le cône d'un ciseau en bronze	62
2.53 Marques d'essai de dureté sur le cône d'un ciseau en cuivre	63
2.54 Un bas-relief du <i>uas</i> -sceptre et du <i>ankh</i> symbole gravé dans du calcaire tendre à l'aide d'un ciseau en cuivre	64
2.55 Le bas-relief fini en calcaire	65
2.56 Le visage de Ramsès II au temple d'Abou Simbel, Haute-Égypte	66
2.57 Un levier de garrot à contrepoids illustré dans une tombe à Deshasheh	67
2.58 Le levier de garrot à contrepoids reconstruit	68
2.59 Utiliser une scie à deux mains alors que le bois reste solidement attaché à un poteau enfoui dans le sol	68
2.60 Le levier de garrot à contrepoids tenant une planche fouettée à 45° par rapport à la verticale. De la tombe de Pepionkh à Meir	68
2.61 Un artisan sciant une pièce de bois inclinée vers lui. De la tombe de Rekhmire à Thèbes	68
3.1 L'obélisque de granit rose profondément incisé de Thoutmosis Ier au temple de Karnak	75
3.2 Une tranchée creusée dans le granit sur l'un des côtés de l'obélisque inachevé d'Assouan	75
3.3 L'obélisque inachevé d'Assouan	76
3.4 Un colosse de granit, tel que représenté dans la tombe de Rekhmire à Thèbes	80
3.5 Un hiéroglyphe inachevé, <i>nb</i> , dans la colonne de granit Bolton Museum and Art Gallery 1891.14	84
3.6 Aplatir une surface granitique avec un nodule de silex	85
3.7 Un maillet en bois, Bolton Museum and Art Gallery 1904.48.67 de Deir el-Bahri, Haute-Égypte, a des fentes en forme de coin enfoncées dans sa surface de frappe	85

3.8 Écailler des morceaux de grès dur avec un ciseau à silex entraîné par un maillet	87
3.9 Un incisé <i>ankhs</i> signé sculpté dans du grès dur avec des ciseaux à silex et des poinçons	87
3.10 La structure cristalline du granit rose	87
3.11 La surface d'un bloc lisse de diorite ébréché avec un ciseau à silex enfoncé par un marteau en pierre (à gauche de la fente tubulaire)	88
3.12 Montrant comment <i>lenble</i> signe pourrait être coupé en granit rose avec un ciseau à silex	88
3.13 Gratter l'expérimental <i>nbs</i> signer avec un outil en silex	89
3.14 Travail du calcaire tendre au grattoir en silex	89
3.15 Lissage de la <i>nbs</i> signer avec un caoutchouc de grès	90
3.16 Polissage du granit avec un cuir et de la boue	91
3.17 Le fini <i>nbs</i> hiéroglyphe	92
3.18 Une rainure expérimentale en granit rose, taillée avec un outil pointu en silex "trifacial"	93
3.19 Le hiéroglyphe pour 'silex' (<i>dès</i>), incisé dans le grès dur avec des ciseaux et des poinçons en silex	94
3.20 Hiéroglyphes anciens gravés dans du grès dur	94
4.1 Un grand trou de forage dans un bloc de granit rose à Karnak, créé par un premier forage avec un tube possédant une épaisseur de paroi de environ 3 mm, puis casser le noyau	104
4.2 Cristaux de quartz dans le sable	110
4.3 Test de forage de calcaire tendre, avec un tube de roseau entraîné par un arc et un abrasif de sable sec	111
4.4 Un moule de forme tubulaire en sable, prêt à être rempli de cuivre fondu	113
4.5 Deux moulages tubulaires en cuivre défailants	114
4.6 L'une des pierres angulaires reconstruites	119
4.7 Un arc de 39 cm de long pour l'entraînement de petites foreuses tubulaires reconstituées	119
4.8 Forage de la diorite avec un tube en bronze entraîné par arc et un sable abrasif	121
4.9 Gros plan d'un foret tubulaire en cuivre engagé dans le trou de forage	121
4.10 Un trou tubulaire dans la diorite	122
4.11 Un trou tubulaire en granit rose	122
4.12 La surface de coupe striée et piquée d'un foret tubulaire en cuivre	123
4.13 Le bord plat strié d'une lame de scie à pierre	123
4.14 Les déchets sable/cuivre/poudre de pierre obtenus à partir du forage du granit avec un tube de cuivre et du sable	124
4.15 La poudre finement broyée, regardant à travers un microscope optique. Le champ de vision est de 1 mm de diamètre	125
4.16 Micrographie électronique à balayage d'une poudre dérivée de granite finement broyée. De nombreux fragments de quartz et de pierre mesurent entre 50 et 80 microns	125
4.17 Stries taillées dans un noyau de pierre	127

4.18 Micrographie électronique à balayage de minuscules particules angulaires dans la poudre dérivée du granite. La plupart des fragments de quartz et de pierre ont une longueur comprise entre 0,5 et 5 microns	127
4.19 Une peinture illustrant comment d'anciens ouvriers auraient pu scier du granit et d'autres pierres dures	129
4.20 Une peinture montrant comment les anciens ouvriers auraient pu forer du granit et d'autres pierres dures avec des tubes de forage de grand diamètre	130
4.21 Au premier plan, l'équipe de trois ouvriers fore un bloc de granit rose avec un tube de cuivre de 8 cm de diamètre. En arrière-plan, deux scieurs actionnent la scie à cuivre à lame plate	132
4.22 La corde d'étrave en double tour autour du puits de forage	132
4.23 Le noyau dans le trou de forme tubulaire	133
4.24 Burins coniques plats utilisés pour retirer le noyau du trou tubulaire	134
4.25 Le noyau granitique strié	134
4.26 Stries dans la paroi du trou	135
5.1 Un foreur en silex en forme de croissant de l'Ancien Empire, BM 59998 (à gauche), probablement utilisé pour creuser des récipients en gypse, et un foreur en quartzite strié en forme de huit d'Abydos, BM 37278 (à droite), daté de la Première Dynastie	139
5.2 Une réplique de foreuse de chert en forme de croissant	140
5.3 Vase en syénite de forme sphéroïdale aplatie Nagada II de Hierakonpolis (MM 1776), à oreilles percées. Le diamètre interne, la hauteur et l'épaisseur de la paroi du récipient sont respectivement de 50 cm, 34 cm et 3 cm	141
5.4 Un foreur de pierre allongé en forme de huit reconstruit	143
5.5 Le foreur de pierre allongé reconstruit engagé avec un arbre fourchu	143
5.6 Une représentation de la douzième dynastie représentant un arbre fourchu fixé à un arbre central (du Fitzwilliam Museum E55.1914)	144
5.7 Une version de forage proposée de l'outil pour fabriquer des récipients en pierre, qui a un tube de cuivre monté à force sur son arbre central	144
5.8 Une illustration de l'outil de forage dans la tombe-chapelle de la douzième dynastie du fils d'Ukh-hotp, Senbi, à Meir	146
5.9 Une représentation de l'outil de forage dans la tombe de Pepionkh de la XIIe dynastie à Meir	146
5.10 Représentation de la XVIIIe dynastie d'un foreur assis creusant un récipient en calcite. De la tombe de Rekhmire à Thèbes	146
5.11 Une représentation d'un foreur assis dans la tombe de Nebamun et Ipuky de la XVIIIe dynastie à Thèbes	146
5.12 Une illustration de deux ouvriers dans la tombe de Puyemre de la XVIIIe dynastie à Thèbes	147
5.13 Un ouvrier debout représenté dans la tombe d' Aba de la vingt-sixième dynastie à Thèbes	147

5.14 Un pot de canard en calcite translucide de la XIIe dynastie (MM 5341), trouvé dans la Pyramide du Sud, Mazghuneh	149
5.15 Un dessin du Duck Jar, montrant les grandes rainures faites par les foreurs de pierre en forme de huit (d'après MM 5341)	150
5.16 Un TRTD reconstruit, lesté de deux pierres, entraînant une perceuse tubulaire en cuivre	151
5.17 Un TRTD reconstruit, équipé d'un seul poids en pierre	151
5.18 Un tube de forage en cuivre coulé de 7 cm de diamètre, monté à l'extrémité inférieure d'un puits central TRTD	151
5.19 Un TRTD, équipé d'un arbre fourchu, entraînant un foreur de pierre	152
5.20 Gros plan d'un arbre fourchu solidement ancré à un arbre central	153
5.21 Une torsion dans le sens des aiguilles d'une montre d'un grand arbre de forage	154
5.22 Une torsion dans le sens inverse des aiguilles d'une montre d'un grand arbre de forage	154
5.23 Façonner l'extérieur du vase en pierre d'essai	156
5.24 Tailler le col du vase avec un grattoir en silex	156
5.25 L'extérieur fini du vase	156
5.26 Les outils utilisés pour façonner le vase	157
5.27 La rainure ciselée et grattée dans la surface supérieure du vase, pour localiser un tube de cuivre prêt à être percé	158
5.28 Deux trous tubulaires forés sur le même axe dans le calcaire, démontrant le noyau tubulaire ainsi formé	158
5.29 Perçage du vase avec un tube de cuivre de 4 cm de diamètre	159
5.30 Affaiblir la carotte avec un foret tubulaire de plus petit diamètre	160
5.31 L'enlèvement du petit noyau solide a précédé la rupture du noyau tubulaire en pierre	160
5.32 Le noyau tubulaire est maintenant retiré	161
5.33 Grattage d'une rainure sous l'épaule du vase, avec un outil en silex en forme de crochet	162
5.34 La gorge prête à recevoir un foreur	162
5.35 Un arbre fourchu engageant l'un des alésoirs en huit utilisés pour agrandir la forme bulbeuse du vase	163
5.36 La foreuse en huit engagée dans la rainure	163
5.37 Creuser le vase, avec le foreur de pierre en position horizontale	164
5.38 Les outils utilisés pour percer et percer le vase	165
5.39 L'intérieur du vase fini	166
6.1 Conception de la façade du palais sur le sarcophage en granit rose d'Akhet-Hotep, Gizeh	169
6.2 Trous de levage percés dans le couvercle du sarcophage en granit rose d'Akhet-Hotep à Gizeh	171
6.3 Une scie à pierre devait être légèrement plus longue que la largeur d'un bloc de pierre, pour permettre son mouvement alternatif	171
6.4 Le diamètre externe calculé du tube de cuivre utilisé pour percer le sarcophage de Khufu, avec les mesures de WMF Petrie de la marque incurvée dans la paroi interne	173

6.5 La méthode proposée pour percer le sarcophage de Khufu avec 62 trous, 44 pour le périmètre, 18 pour affaiblir la masse centrale	173
6.6 Le tube de cuivre utilisé pour percer le sarcophage en granit de Khéops était un peu plus grand en diamètre que ce foret tubulaire reconstruit. La pierre angulaire lubrifiée est à gauche	174
7.1 Grands blocs de coffrage calcaire au pied du côté nord de la Grande Pyramide	179
7.2 Une réplique de cadre en bois pour tester le niveau horizontal, en forme de lettre majuscule « A »	181
7.3 Une réplique de cadre d'essai vertical en bois	181
7.4 Trois tiges de bois (MM 28) trouvées à Kahun par WMF Petrie	182
7.5 Blocs de noyau de calcaire dans la pyramide de Khéops	183
7.6 Gros plan des blocs centraux de la Grande Pyramide	184
7.7 Un joint montant entre deux grands blocs de revêtement dans la Grande Pyramide	185
7.8 Gros plan du joint montant illustré à la Figure 7.07	185
7.9 La surface d'extrémité d'un bloc de tubage sur le côté nord de la Grande Pyramide	186
7.10 Vérification de la planéité de la surface à l'aide de tiges et de ficelle (à gauche) et vérification de la planéité en diagonale à l'aide d'une ficelle tendue uniquement (à droite). De la tombe de Rekhmire à Thèbes	187
7.11 Une réplique d'un ensemble de tiges, enroulé avec sa ficelle	188
7.12 Les tiges et la ficelle prêtes à tester la planéité d'une surface	189
7.13 Les tiges et les cordes agissant hypothétiquement comme un étrier intérieur entre deux poulies	191
7.14 De grands blocs de pierre ont été fabriqués pour s'adapter aux blocs adjacents	192
7.15 Blocs de tubage ajustés avec précision au sommet de la pyramide de Khafré à Gizeh	193
7.16 Grands blocs de pierre ajustés avec précision à leurs piliers de soutien dans l'Osireion à l'arrière du temple d'Abydos	194
7.17 Deux petits blocs de calcaire, chacun avec une surface aplatie à une tolérance de 0,25 mm	195
7.18 L'essai de glissement lubrifié à l'aide des blocs de calcaire préparés	196
7.19 Vestiges d'une rampe en briques crues dans le temple de Karnak, Louxor	197
8.1 Une réplique de perceuse à billes en bronze de type Kerma insérée à force dans un manche en bois cintré	206
8.2 Un petit arc tournant la perceuse à billes réplique	206
8.3 La pierre angulaire pour exercer une pression sur la réplique rotative du foret à billes	207
8.4 Un trou de 2 mm de diamètre dans la calcite, réalisé avec le foret réplique bronze	207
8.5 Une coupe transversale d'une longue forme de perle bicône convexe, montrant comment les trous percés à chaque extrémité se rejoignent souvent à un angle au centre	207
8.6 Deux artisans forant chacun deux perles de pierre. Du tombeau de Puyemre à Thèbes	208

8.7 Un seul artisan forant trois perles de pierre. De la tombe de Rekhmire à Thèbes	209
8.8 Un seul artisan à la table de forage. De la tombe d'Amenhotpe-si-se à Thèbes	209
8.9 Un atelier de fabrication de perles du Nouvel Empire à Thèbes, en Haute-Égypte. Deux des artisans utilisent chacun quatre tiges de forage. De la tombe de Sebekhotep à Thèbes (BM 920)	210
8.10 Un travailleur utilisant trois perceuses simultanément. De la tombe de Nebamun et Ipouky à Thèbes	210
8.11 Un tabouret à trois pieds de la XVIIIe dynastie provenant de Thèbes (BM 2481)	211
8.12 Maintenir une table de forage reconstruite stable avec une corde. Après une illustration de la tombe de Puyemre à Thèbes	213
8.13 L'arc en forme d'arc reconstruit, ainsi que la table de forage creuse à trois pieds	213
8.14 Trois tiges de forage en bronze de type thébaine reconstituées	214
8.15 L'ensemble de trois manches en bois reconstitués	215
8.16 L'ensemble de cinq manches en bois reconstitués	215
8.17 L'un des blocs de boue d'essai, avec des morceaux de pierre d'essai fermement maintenus à l'intérieur	216
8.18 L'ensemble reconstitué de trois tiges de forage en fonctionnement	217
8.19 L'ensemble reconstitué de cinq tiges de forage est en cours de rotation	217
8.20 Gros plan de la corde d'arc entraînant chaque tige de forage	218
8.21 Détermination de la vitesse de coupe d'une tige de forage en bronze à l'aide de la pâte abrasive fine	218
8.22 Le pouce placé entre la corde de l'arc et le manche de l'arc, qui ajuste automatiquement la tension de la corde pendant le forage	219
8.23 Vue rapprochée de la pointe de perçage d'une tige en bronze	221
8.24 Une section d'une perle de cornaline de 8 mm de diamètre (de MM 63153), révélant de fines stries dans le trou d'enfilage	221
9.1 La poudre de déchet blanchâtre obtenue à partir du forage de calcaire dur avec un tube de cuivre et du sable	228
9.2 Une carotte d'essai, fabriquée à partir de poudre dérivée de calcaire dur	228
9.3 Micrographie électronique à balayage d'un noyau, fabriqué à partir de la poudre dérivée de calcaire dur	229
9.4 Un échantillon de glaçure, fabriqué à partir de la poudre dérivée du granit	230

AVANT-PROPOS

La démystification progressive est une façon de caractériser mes trente années d'enquête archéologique sur la culture de l'Égypte ancienne. Dorothy a découvert que le grand et puissant magicien d'Oz, avec tout son mystère, son bruit et sa fureur, était vraiment le petit homme derrière le rideau. De même, le mystère et la magie de l'Égypte ancienne, les puissants monuments construits pour les dieux et la royauté, voilent la vie et le travail de personnes réelles. Plus nous examinons attentivement les détails des pyramides gigantesques et des obélisques de cent tonnes élégamment posés, plus ils se révèlent comme des monuments très humains. En même temps, plus notre sentiment d'admiration et d'appréciation est profond pour la façon dont ces personnes réelles ont rassemblé leur travail et leurs ressources pour créer des icônes avec une perfection d'un autre monde.

"Mais, malgré tout ce que vous avez appris", a déclaré l'un de mes amis du New Age et partisan de l'archéologie alternative, "vous, les égyptologues, n'avez jamais résolu comment les anciens Égyptiens travaillaient le granit". Il est vrai que la façon dont ils ont coupé, sculpté et percé le granit, l'une des pierres les plus dures, pour produire des sculptures colossales magnifiquement polies, des sarcophages et des hiéroglyphes gravés avec précision, est restée l'une des énigmes les plus provocantes de leur culture.

Après avoir réfléchi aux détails minutieux du travail du granit égyptien antique, Sir Flinders Petrie a conclu que les maçons égyptiens antiques utilisaient des scies et des forets en cuivre ou en bronze parsemés de pierres dures comme les diamants, le béryl et le corindon. Mais ces matériaux de coupe durs sont peu connus ou absents en Égypte. L'archéologue moderne doit immédiatement s'interroger sur les sources étrangères, les réseaux d'approvisionnement et de commerce que de tels matériaux impliqueraient, surtout compte tenu de l'ampleur du travail du granit et d'autres pierres dures à tout moment dans l'Égypte ancienne. D'autres érudits ont suggéré le sable, trop commun dans les déserts qui bordent l'Égypte, comme agent de coupe. Pourtant, d'autres ont répondu que le sable ne pourrait jamais produire les détails que nous voyons dans les anciennes coupes à la scie et percer des trous dans les pierres les plus dures que l'artisan égyptien a travaillé avec un tel aplomb.

En mars 1999, j'ai eu la chance de voir Denys Stocks travailler le granit avec des outils et des techniques très proches de ceux des anciens. Dans l'une des plus grandes carrières modernes d'Assouan, Denys a démontré ce qu'il avait appris d'années d'observation méthodique, détaillée et technique de la maçonnerie ancienne, et d'expériences impliquant la taille et le forage de la pierre. Denys m'a instruit comme

J'ai essayé de graver un petit hiéroglyphe, un *ankh* ("vie"), dans un morceau de granit rose en utilisant des éclats de silex acérés comme des ciseaux miniatures (les bords du silex s'effritent à chaque coup, mais en poudre une partie du granit en même temps). Sous la tutelle de Denys, après plusieurs heures j'avais un glyphe présentable en relief creux. Peut-être qu'avec juste un peu de temps, de formation et des générations d'expérience des anciens maçons, j'aurais même pu obtenir ces bords nets et tranchants que nous voyons sur les monuments pharaoniques.

J'ai vu les ouvriers de la carrière d'Assouan abandonner les chalumeaux et les ciseaux en acier au carbure pour prendre la lame de scie en cuivre sans dents de Denys. Avec un travail acharné très persistant et du sable plat du désert, ils ont creusé une entaille dans une grande dalle de granit. Le moment le plus brillant de la perspicacité est venu à la fin de l'expérience de forage. Pendant 20 heures, trois hommes ont utilisé une perceuse à archet calquée sur les représentations antiques, avec un tube de cuivre et du sable en guise de mors, pour creuser un trou circulaire de 6 cm de profondeur. Un peu de martelage avec des ciseaux a fait éclater le noyau, un cylindre effilé de granit possédant des stries très similaires aux exemples des pyramides de Gizeh de la quatrième dynastie (vers 2500 avant JC) qui avait tant intrigué et intrigué Petrie.

De l'approche pratique de Denys et de son attention aux structures élémentaires de la maçonnerie ancienne, nous gagnons plus que de résoudre des énigmes particulières de techniques anciennes. On nous donne un aperçu de l'évolution des « outils et processus interconnectés » de la maçonnerie égyptienne antique. Et nous sommes informés de la manière dont ce système s'intègre dans le système adaptatif plus large et complexe qu'est la civilisation égyptienne. Lorsque nous entrevoyons le travail qui va dans un seul trou percé à travers le granit, nous apprécions le coût de production de dizaines de milliers de vases en pierre dure au début de la période de formation de l'Égypte (quelque 40 000 ont été trouvés sous la pyramide à degrés de Zoser à Saqqarah). Lorsque nous voyons ce qu'il faut pour couler une large lame de cuivre ou de bronze à l'aide de petits creusets séparés, nous avons un aperçu de l'ordre de grandeur de l'exploitation minière, de la fusion, et couler des scies et des ciseaux pour créer les statues colossales et les obélisques de l'ère de l'empire. Lorsque nous voyons une perte de cuivre à la pierre allant de 1:4 ou 1:1 dans le sciage et le forage du granit, nous pouvons mieux apprécier le coût d'un sarcophage en granit, d'un portail funéraire ou d'une statue dans une ancienne économie qui utilisait des poids (*deben*) de cuivre ou de bronze comme étalon de valeur. En cherchant à résoudre les énigmes du travail de la pierre dans l'Égypte ancienne, Denys Stocks offre un aperçu de la société et de l'économie des anciens Égyptiens.

Marc Lehner

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma gratitude aux organisations et personnes suivantes pour leur autorisation de reproduction d'illustrations photographiques et au trait : The Bolton Museum and Art Gallery, The British Museum, The Brooklyn Museum of Art, The Egypt Exploration Society, The Fitzwilliam Museum, The Manchester Museum, le Metropolitan Museum of Art et Terry Dowker, Barry Oswald, Jeffrey Stocks et Michael Tite. Je remercie sincèrement Kelly et Chris Godwin, qui m'ont généreusement aidé dans mon projet de recherche.

Je suis particulièrement reconnaissant à NOVA/WGBH Boston, Julia Cort, Mark Lehner, Hamada Rashwan, Hassan Abdel Alim et aux équipes de sciage et de forage, pour leur aide sans réserve lors de mes expériences de taille de granit à Assouan, en Haute-Égypte. Il y a beaucoup d'autres personnes qui ont contribué à mon projet de recherche au fil des ans : collectivement, je leur dois une grande gratitude.

J'apprécie grandement les encouragements et le soutien de ma femme, Carol, et de mes fils Jeffrey, Ian et Paul. Sans leur implication constante, ce livre n'aurait jamais pu voir le jour.

Je remercie également sincèrement Richard Stoneman et Celia Tedd de Routledge, dont le soutien et les soins ont résolu de nombreux problèmes sur le chemin de la publication de ce livre.

Denys Stocks, *Manchester, mai 2003*

[*http://www.facebook.com/per.medjat*](http://www.facebook.com/per.medjat)

[*http://www.facebook.com/groups/per.medjat*](http://www.facebook.com/groups/per.medjat)

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Ouvrages

<i>AE</i>	<i>L'Égypte ancienne</i> (Londres)
<i>EMI</i>	A. Lucas et JR Harris, <i>Matériaux et industries de l'Égypte ancienne</i> , Londres : Edward Arnold, 1962
<i>AEMT</i>	PT Nicholson et I. Shaw (eds), <i>Matériaux et technologie de l'Égypte ancienne</i> , Cambridge: Cambridge University Press, 2000
<i>ASAÉ</i> <i>Chat. Caire</i>	<i>Annales du Service des Antiquités de l'Égypte</i> (Caire) <i>Catalogue Général des Antiquités Égyptiennes du Musée du Caire</i> (Caire)
<i>CdÉ</i>	<i>Chronique d'Égypte</i> (Bruxelles)
<i>JARCE</i>	<i>Journal du Centre de recherche américain en Égypte</i> (New York)
<i>JEA</i>	<i>Journal d'archéologie égyptienne</i> (Londres)
<i>JRAI</i>	<i>Journal de l'Institut royal d'anthropologie de Grande-Bretagne et l'Irlande</i> (Londres)
<i>RAS</i>	<i>Revue d'Archéométrie, Supplément, 1981</i> (Paris)
<i>RdÉ</i>	<i>Revue d'Égypte</i> (Paris)
<i>ZÄS</i>	<i>Zeitschrift für Ägyptische Sprache und Altertumskunde</i> (Berlin)

Musées

BM	British Museum, Londres
CM	Musée du Caire
MM	Manchester Museum, University of Manchester
MMA	Metropolitan Museum of Art, New York
UC	Petrie Collection, University College London

[*http://www.facebook.com/per.medjat*](http://www.facebook.com/per.medjat)

[*http://www.facebook.com/groups/per.medjat*](http://www.facebook.com/groups/per.medjat)

PRÉDYNASTIQUE ET DYNASTIQUE CHRONOLOGIE

Néolithique, nord de l'Égypte : début ca. 5200_{avant JC}

Période prédynastique

- Culture Ma'adi, nord de l'Égypte, env. 4000–3300/3200_{avant JC}
- Culture badarienne, Moyenne Égypte, ca. 4500–3800_{avant JC}

Culture Nagada, sud de l'Égypte

- Nagada I, env. 4000–3600_{avant JC}
- Nagada II, env. 3600–3200_{avant JC}
- Nagada III/Dynastie 0, env. 3200–3050_{avant JC}

Début de la période dynastique

Première dynastie, ca. 3050–2890_{avant JC}

- Ah !
- Djer
- Djet
- Tanière
- Anedjib
- Smerkhet
- Qa'a

Deuxième dynastie, ca. 2890–2686_{avant JC}

- Hotepsekhemwy
- Renéb
- Nynetjer
- Weneg
- Péribsen
- Khasekhemoui

Ancien Empire

Troisième dynastie, ca. 2686–2613_{avant JC}

- Nebka

- Zoser
- Sekhemkhet
- Khaba
- Huni

Quatrième dynastie, ca. 2613–2494avant JC

- Seneferu
- Khéops
- Djedefre
- Khafré
- Nebka
- Menkaourê
- Shepseskaf

Cinquième dynastie, ca. 2494–2345avant JC

- Weserkaf
- Sahourê
- Néferirkarê
- Shepseskare
- Néferéfré
- Niouserrê
- Menkauhor
- Djedkarê-Isési
- Unas

Sixième dynastie, ca. 2345–2181avant JC

- Téli
- Weserkaré
- Pépi I
- Mérenre
- Pépi II
- Nitocris

Première période intermédiaire

- Septième à onzième dynasties, ca. 2181–2055avant JC

Royaume du millieu

Onzième dynastie, unification, ca. 2055–1985avant JC

- Mentouhotep II
- Mentouhotep III
- Mentouhotep IV

XIIe dynastie, ca. 1985–1795avant JC

- Amenemhat I
- Sésostri I
- Amenemhat II

- Sésostris II
- Amenemhat III
- Amenemhat IV
- Reine Sobekneferu

Deuxième période intermédiaire

- Treizième à XVIIe dynasties, ca. 1795-1550^{avant JC}

Nouvel Empire

XVIIIe dynastie, ca. 1550-1295^{avant JC}

- Ahmosé
- Aménophis Ier
- Thoutmosis I
- Thoutmosis II
- Thoutmosis III
- Hatchepsout
- Aménophis II
- Thoutmosis IV
- Aménophis III
- Amenhotep IV/Akhenaton (période amarnienne)
- Smenkhkarê
- Toutankhamon
- Oui
- Horemheb

Période Ramesside

XIXe dynastie, ca. 1295-1186^{avant JC}

- Ramsès Ier
- Sési I
- Ramsès II
- Merenptah
- Amenmesses
- Sési II
- Siptah
- Reine Tawosret

Vingtième dynastie, ca. 1186-1069^{avant JC}

- Sethnakht
- Ramsès III
- Ramsès IV
- Ramsès V
- Ramsès VI
- Ramsès VII

- Ramsès VIII
- Ramsès IX
- Ramsès X
- Ramsès XI

Troisième période intermédiaire

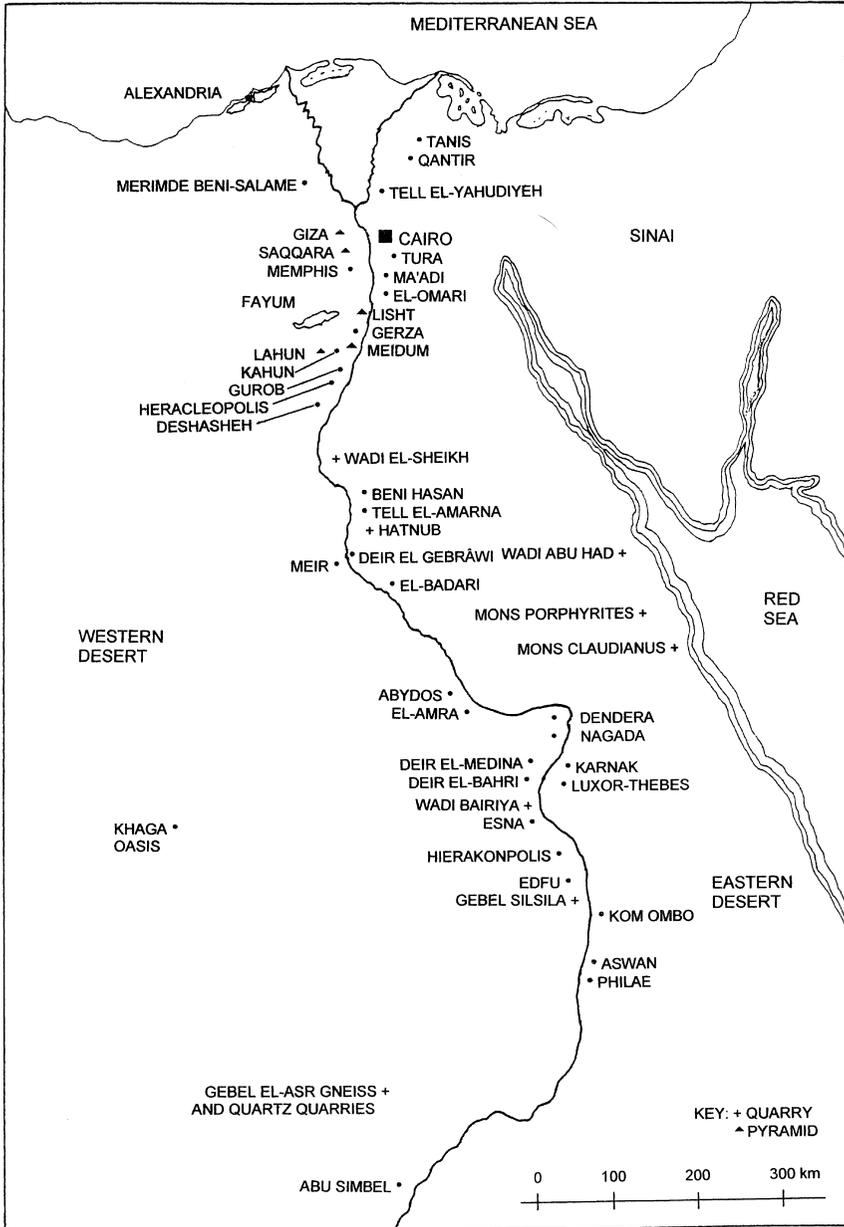
• Vingt et unième à vingt-cinquième dynasties, ca. 1069–653avant JC

Période tardive

Vingt-sixième dynastie (Saïte), ca. 664–525avant JC

- Neko I
 - Psamtik I
 - Neko II
 - Psamtik II
 - Après
 - Amasis
 - Psamtik III
-
- Vingt-septième dynastie (perse), ca. 525–404avant JC
 - Vingt-huitième dynastie, ca. 404–399avant JC
 - Vingt-neuvième dynastie, ca. 399–380avant JC
 - Trentième dynastie, ca. 380–343avant JC
 - Trente et unième dynastie (perse), ca. 343–332avant JC

Cette chronologie suit KA Bard (éd.) *Encyclopédie de l'archéologie de l'Égypte ancienne*, Londres : Routledge, 1999.



Carte de l'Egypte montrant d'importants sites de carrière et de fabrication prédynastiques et dynastiques

[*http://www.facebook.com/per.medjat*](http://www.facebook.com/per.medjat)

[*http://www.facebook.com/groups/per.medjat*](http://www.facebook.com/groups/per.medjat)

INTRODUCTION

Des changements sociaux et organisationnels sont générés dans toute société qui introduit et absorbe des avantages techniques. Récemment, les résultats d'expériences avec plus de 200 répliques et outils reconstruits indiquent le développement de technologies, d'outils et de matériaux interdépendants dans des domaines clés au cours de la période prédynastique (vers 4500-3050).avant J.C) de l'Égypte ancienne. Ces expériences suggèrent également que les changements évolutifs ultérieurs apportés à la conception d'outils particuliers ont considérablement augmenté les taux de production d'artefacts, donnant une impulsion à la création de quantités croissantes de richesse matérielle. Ce livre tente d'expliquer ce qu'étaient ces introductions techniques, outils, matériaux et relations, et comment le développement de la technologie et de l'artisanat a généré des changements sociaux et organisationnels dans la société égyptienne prédynastique et dynastique.

Dans l'Égypte prédynastique, la capacité de produire des artefacts progressivement compliqués s'est progressivement développée à partir des compétences de conception et de fabrication des artisans, assistées par une utilisation intelligente d'une abondance de matériaux naturels acquis dans l'environnement local. Ceux-ci comprenaient la pierre, le bois, les minéraux, le sable et de nombreux types de végétation. Les développements technologiques prédynastiques peuvent être divisés en plusieurs domaines distincts, chacun avec ses propres outils et techniques spécialisés, mais partageant parfois d'autres outils, méthodes et matériaux. En particulier, la mise en place des outils et des procédures pour la fabrication à grande échelle de récipients en pierre pendant le Nagada II (vers 3600-3200avant J.C) et la Nagada III/Dynastie 0 (vers 3200-3050avant J.C) les périodes ont contribué de manière cruciale à la croissance d'autres technologies au cours de ces périodes et dans l'ère dynastique suivante. Par exemple, la sculpture de la palette cérémonielle en schiste du roi Narmer (Dynastie 0) et la statuaire dynastique en pierre dure ont bénéficié des compétences et des outils établis pour façonner les anciens récipients en pierre dure prédynastique, les haches à main en pierre et les têtes de masse. En outre, il est possible que l'expansion prédynastique tardive de la fabrication de faïence puisse être attribuée à une disponibilité accrue de poudres de quartz contaminées par le cuivre, un déchet obtenu en forant de la calcite (albâtre égyptien), du calcaire dur et des récipients en pierre ignée avec des tubes de cuivre et du sable. abrasif.

Rares exemples de Badarian (ca. 4500-3800avant J.C) des vases en basalte noir ou gris foncé provenaient d'un cimetière dérangé et des ordures du village, mais dans la période Nagada I (vers 4000-3600avant J.C) récipients en pierres dures et tendres, comme le basalte, le granit,

la calcite, le gypse et le calcaire, ont été produits en nombre croissant.² L'expansion rapide de la production de récipients en pierre dure au cours de la période Nagada II indique que de nouvelles méthodes de fabrication de récipients, plus rapides et plus fiables, ont été introduites à cette époque. Quelles étaient ces nouvelles techniques de production, et pourquoi sont-elles apparues et ont-elles affecté les développements industriels ultérieurs ? En s'efforçant de répondre à ces questions, la fabrication de récipients en pierre dure et tendre a été utilisée comme point focal dans l'étude des développements techniques prédynastiques et dynastiques. Les récipients en pierre ont été les premiers artefacts substantiels dans ce matériau, et donc un vase en pierre a été fabriqué avec les outils de fabrication de récipients en pierre reconstruits afin de les tester. Les problèmes particuliers associés à la mise en forme et à l'évidement réussis des récipients en pierre dure et tendre étaient pertinents pour le développement d'autres outils, procédés et artefacts égyptiens. Par exemple,

Plusieurs domaines importants de la technologie ancienne restent entourés de mystère, en particulier ceux qui concernent le travail de la pierre : notre capacité à évaluer le développement de la technologie égyptienne ancienne, malgré la découverte de nombreux outils, artefacts et illustrations de tombes des processus de fabrication, est frustrée par une connaissance incomplète des métiers importants, et pratiquement aucune connaissance des outils importants manquant dans les archives archéologiques. En essayant de comprendre les étapes techniques réalisées par les artisans de toutes les époques de l'Égypte ancienne, une étude des facteurs environnementaux, des ressources naturelles, des artefacts et des outils existants en notre possession, combinée à un examen des preuves archéologiques et picturales, a précédé la fabrication et l'utilisation des répliques et des outils reconstruits. Toutes les caractéristiques des outils, et leur efficacité pour le travail de la pierre, du bois, du métal et d'autres matériaux indigènes dans des conditions de fabrication et d'essai, ont été évalués et enregistrés. L'examen des méthodes de production, des matériaux et des outils prédynastiques a été facilité en se concentrant également sur les preuves archéologiques dynastiques, en les utilisant comme cadre de référence pour les expériences. Plus tard, en envisageant l'ère dynastique dans une perspective prédynastique nouvellement établie, les raisons des développements de la fabrication dynastique et leurs effets pourraient être mieux compris. L'utiliser comme cadre de référence pour les expériences. Plus tard, en envisageant l'ère dynastique dans une perspective prédynastique nouvellement établie, les raisons des développements de la fabrication dynastique et leurs effets pourraient être mieux compris. L'utiliser comme cadre de référence pour les expériences. Plus tard, en envisageant l'ère dynastique dans une perspective prédynastique nouvellement établie, les raisons des développements de la fabrication dynastique et leurs effets pourraient être mieux compris.

Nous ne savons pas, avec une certitude raisonnable, comment des matériaux particuliers ont été travaillés dans une situation donnée : les taux de coupe et d'usure des outils doivent être établis pour une gamme de matériaux. La construction et l'utilisation précises de l'outil de forage et d'alésage de récipients en pierre ne sont que partiellement perçues, et aucun des équipements de production de masse de la période du Nouvel Empire pour le forage de perles de pierre, un développement de la perceuse à une seule perle, n'a survécu. Seulement quelques illustrations dans six tombes du Nouvel Empire à Thèbes indiquent l'existence d'une procédure de forage importante et systématique. Les méthodes de construction et les outils pour la fabrication de sarcophages et de statues en pierre dure, l'ajustement serré des blocs de pierre utilisés pour l'architecture, la source de la fritte et les matériaux de noyau et de glaçure en faïence, et la taille des reliefs incisés et bas, et des hiéroglyphes, dans la pierre dure et tendre sont également incomplètement comprises. Certaines illustrations de tombes montrent des outils auxiliaires pour le travail-

en bois et en métal, et ceux-ci ont été fabriqués et testés dans le cadre du projet de recherche.

L'artisan égyptien a façonné la pierre, le bois, le métal et d'autres matériaux en sélectionnant les procédés de moulage, de martelage, de sciage, de forage, d'alésage, de ciselage, de coupe, d'écaillage, de poinçonnage, de grattage, de sculpture, de martèlement lourd et léger, de meulage et de polissage. Bien que ce livre examine principalement la technologie de travail de la pierre, la capacité des artisans à transformer ce matériau en artefacts dépendait du développement d'autres technologies de soutien nécessaires ; ceux-ci sont également étudiés. De nombreux processus techniques et leur terminologie associée sont expliqués dans le glossaire des termes techniques.

Les répliques d'outils suivaient les conceptions d'outils trouvés sur différents sites en Égypte par des archéologues; les outils reconstruits étaient conformes aux preuves archéologiques et aux illustrations des tombes, si elles existaient, mais dans certains cas, cela était impossible. Ces outils ont été fabriqués en utilisant les preuves physiques de leur existence comme guide de reconstruction, qui a été influencé par des techniques et des matériaux anciens reconnus et acceptés utilisés pour fabriquer des outils connus. Naturellement, la formation de l'auteur en génie mécanique a déterminé le résultat de la conception exacte de chaque outil, et éventuellement sa fonction. Cependant, l'évaluation de la conception et du fonctionnement d'un outil particulier concerne son développement prévu et sa connexion à d'autres outils et processus. Additionnellement,

Dans les chapitres suivants, il n'y a aucune intention d'examiner comment chaque type d'artefact égyptien antique a été fabriqué tout au long des périodes prédynastique et dynastique, bien que les techniques de construction de certains objets soient analysées de près. L'intention est plutôt de montrer comment d'importants outils et processus ont été développés pour transformer les pierres, les métaux, les bois et la végétation à la disposition des anciens artisans en toutes sortes d'artefacts.

Remarques

- 1 G. Brunton et G. Caton-Thompson, *Civilisation badarienne et vestiges prédynastiques près de Badari*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1928, p. 28, pl. XXIII, 9-11.
- 2 EJ Baumgartel, *Les cultures de l'Égypte préhistorique*, Oxford : Oxford University Press, vol. I, 1955, p. 102-19.
- 3 Les tombeaux thébains des XVIIIe et XIXe dynasties de Puyemrê (Th 39), Rekhmirê (Th 100), Amenhotpe-si-se (Th 75), Sebekhotep (Th 63), Nebamun et Ipouky (Th 181) et Neferrenpet (Th 178).

[*http://www.facebook.com/per.medjat*](http://www.facebook.com/per.medjat)

[*http://www.facebook.com/groups/per.medjat*](http://www.facebook.com/groups/per.medjat)

Première partie

COMPÉTENCES ET OUTILS

Les industriels en herbe

[*http://www.facebook.com/per.medjat*](http://www.facebook.com/per.medjat)

[*http://www.facebook.com/groups/per.medjat*](http://www.facebook.com/groups/per.medjat)

1

ARTISANAT

Force motrice de l'industrie

Artisanat : l'esprit avant la matière

Existant dans les papyrus, les planches à écrire et les ostraca, et composé à l'origine dans l'Empire du Milieu, est le texte de *La satire des métiers : l'instruction de Dua-Khety*.¹ L'histoire contient l'enseignement et les conseils que Dua-Khety donne à son fils Pepy concernant la profession de scribe et la littérature. Dua Khety souligne l'attractivité de la fonction de scribe en décrivant les occupations inconfortables et fatigantes du tailleur de pierre, du chaudronnier, du charpentier, du bijoutier, du tailleur de roseaux, du potier, du maçon, du fourneau et de plusieurs autres ouvriers. . Ironiquement, les artisans avaient déjà établi un ensemble complet de pratiques de travail pendant la période prédynastique, bien avant l'introduction de la fonction de scribe. En tout état de cause, une partie du travail du scribe dépendait de la production industrielle égyptienne dans de nombreux domaines, qui à son tour reposait sur les compétences de différents types d'artisans.

Qu'est-ce que l'artisanat exactement ? Quelles capacités humaines sont mises en jeu ? Le plus important est la communication verbale et non verbale, comme une description, un croquis ou une démonstration d'une idée ou d'une nouvelle compétence. Dans la société séparée de l'artisan, il existe, certainement à une époque récente, une relation entre artisans engagés dans un travail similaire. Il y a un soutien pour le compagnon de travail, exprimé sous la forme de coopération et d'admiration pour un artisanat compétent ;² cette relation doit avoir existé dans les temps anciens. L'association entre les artisans et leurs apprentis est encore plus remarquable. Un intervenant responsable de la formation d'un jeune assumera très volontiers le rôle de mentor. En fait, un apprenti passionné finira par découvrir toutes les compétences de l'artisan sur une longue période de temps.³

Jacob Bronowski, le physicien, a identifié un facteur important affectant le développement de l'artisanat. Il a déclaré que bien qu'un objet et une loi de la nature soient tous deux cachés dans la matière première, une personne à une époque ne pourrait jamais copier à l'identique une création ou une découverte faite par quelqu'un d'autre à une autre époque.⁴

Cette vérité fondamentale s'impose à quiconque tente de se mettre à la place d'un ancien artisan. Les anciens ouvriers vivaient dans un environnement différent et développaient leurs compétences collectives au fil des millénaires : les derniers

des ouvriers pharaoniques sont morts il y a plus de 2 000 ans, ainsi que bon nombre de leurs compétences. Un artisan moderne doit tenir compte de ces facteurs. En particulier, la création d'une réplique d'artefact par un artisan à une époque ultérieure ne peut jamais être identique à l'original fabriqué par un artisan à une époque antérieure. De plus, afin de pénétrer les secrets de l'artisanat ancien, un artisan d'aujourd'hui doit subir certaines des épreuves et des tribulations vécues dans les temps anciens, et peut-être être exposé à certains risques pour sa santé en raison de cette stratégie.

Bronowski a également fait la différence entre le façonnage de matériaux conformes, comme le moulage de l'argile à la main, et le fendage du bois et de la pierre avec un outil. Il suggère qu'un pas en avant intellectuel est fait lorsqu'une personne divise un matériau insoluble et met à nu la structure de la nature.⁵

Les commentaires de Bronowski éclairent utilement le passage de l'architecture en briques crues du début de la dynastie à des bâtiments fabriqués à partir de blocs de pierre façonnés avec des outils de coupe : le meilleur exemple est la construction de la pyramide à degrés à Saqqarah (figure 1.1). Le bloc de calcaire beaucoup plus durable, qui dans cette pyramide suivait la forme de la brique crue (figure 1.2), bien qu'un peu plus grand, a permis des changements fondamentaux dans la construction architecturale de ce monument. Plus tard, les outils et les compétences anciens sont devenus plus sophistiqués, ce qui a permis la fabrication d'artefacts plus complexes à partir de pierres difficiles à travailler, comme le granit.

Bronowski a également suggéré que sur une longue période d'évolution humaine, la main et le cerveau ont interagi, chacun se renvoyant l'un à l'autre, ce qui a permis au cerveau de devenir particulièrement apte à manipuler la main. « Bien que Bronowski se réfère aux activités de l'espèce humaine dans son ensemble, une observation similaire peut être faite à propos d'un artisan apprenant un métier. Chaque action apprise doit être stockée dans le cerveau et est mise en œuvre chaque fois qu'une réponse similaire est requise. Certaines modifications de l'action peuvent être nécessaires, car il n'y a jamais deux circonstances identiques. C'est ce qu'on appelle l'expérience. Un artisan hautement qualifié et qualifié est capable de se souvenir de cette expérience à volonté et est capable d'évaluer une matière première pour un nouvel artefact en toute confiance. En fait, l'image mentale générée par le cerveau, conséquence de la manipulation d'outils manuels pendant des années, est si forte que l'objet fini peut être « vu » dans « l'œil de l'esprit ». La confiance suprême des anciens artisans,

La capacité d'un artisan à transformer n'importe quel matériau en un artefact dépend de sa formation et de l'adoption d'une attitude pragmatique. Dans l'Égypte ancienne, une classe d'artisans s'est lentement développée à partir de petits débuts, bénéficiant de familles protégeant et conservant les connaissances acquises. Alors que l'artisanat est parfois une expérience partagée, un travailleur individuel développe des compétences qui lui sont propres. En particulier, le développement complet des compétences d'un travailleur prend toute une vie, pas seulement la période d'apprentissage. Donc, *quelconque* artefact produit par un artisan particulier est une conséquence des compétences acquises *jusqu'à ce moment*, deux objets ne peuvent jamais être identiques.

Les anciens artisans sondaient assidûment les matériaux naturels présents dans l'environnement. Quelle inspiration ont-ils tirée des formes de



Illustration 1.1 La pyramide à degrés de la troisième dynastie à Saqqarah



Illustration 1.2 Blocs de noyau de calcaire dans la pyramide à degrés, en forme de brique de boue



Illustration 1.3 Feuilles de palmier sculptées dans un chapiteau de colonne en pierre

végétation lors de la conception des outils ? On sait que la forme structurelle de certaines végétations a influencé certaines caractéristiques architecturales des bâtiments en pierre. Par exemple, les colonnes de pierre imitaient parfois des fagots de papyrus ou de roseaux, tandis que leurs chapiteaux pouvaient suivre la forme du feuillage des arbres (figure 1.3) ou du bourgeon de lotus. Les preuves présentées plus tard dans ce livre indiquent que la conception d'outils importants devait également beaucoup à l'architecture de la nature.

Traditionnellement, la ville de Memphis, la première capitale administrative de la Haute et de la Basse Égypte, a été fondée ca. 3100 avant J.C sur un site à quelque 25 km au sud du Caire. Le dieu créateur de la ville, Ptah, était le patron de tous les artisans. À cette première période, ces personnes industrieuses ont peut-être joui d'un statut relativement élevé en tant que créateurs d'une grande partie de la richesse de la culture Nagada de Haute-Égypte, qui a finalement possédé le pouvoir de réunir la Haute et la Basse-Égypte. Ceci est tout à fait contraire à la manière dont Dua-Khety percevait la stature de l'artisan à l'époque du Moyen Empire.

Outils, matériaux et artefacts importants : un bref aperçu

L'introduction de la période néolithique en Égypte (ca. 5200 avant J.C) a en outre libéré les travailleurs traditionnellement responsables de la fabrication d'artefacts dans la communauté pour qu'ils consacrent beaucoup plus de temps et d'énergie à la conception et à la fabrication de nouveaux outils en pierre. L'introduction de l'agriculture avait progressivement remplacé un chasseur-cueilleur et la pêche



Figure 1.4 Une hache à main prédynastique en basalte

culture existant en Égypte avant cette date.⁷ Les gens du néolithique ont commencé à cultiver des cultures et à élever des chèvres, des bovins, des porcs et des moutons dans des endroits sédentaires, tels que le Fayoum (vers 5200–4500 avant JC), Merimde Beni-salame (vers 4750-4250 avant JC) et el-Omari (vers 4600–4400 avant JC) dans le nord (la Basse) Égypte.⁸ Dans la strate la plus basse ou la plus ancienne (Phase I) de Merimde, des lames et des éclats lithiques retouchés ont été transformés en grattoirs latéraux et en grattoirs, ainsi qu'en pointes de flèches et en petits perforateurs.⁹

Dans les phases II à V, des haches à main soigneusement taillées, meulées et polies de quartzite, de basalte, de granit, de calcédoine, de schiste et de calcaire cristallin ont été localisées.¹⁰ En particulier, l'artisan était capable, à l'œil nu, de façonner des haches en pierre dure en artefacts hautement symétriques, meulés et polis en douceur (figure 1.4) ; les haches en silex taillées étaient également polies, mais pas complètement lissées. Les haches étaient souvent utilisées comme herminettes pour creuser des bûches; le tranchant d'une hache était fixé perpendiculairement à l'axe longitudinal de son manche en bois.¹¹ La pierre a été écaillée de manière bifaciale en pointes de projectile à base concave, en pointes triangulaires, en longs forets ou perceuses, en grandes lames de couteau et de faucille denticulées (dentelées), ainsi qu'en perforateurs et grattoirs non bifaciaux.¹² On a également découvert à Merimde de petits vaisseaux de calcite et des masses perforées en ardoise, calcite et calcaire dur.¹³

Le travail des pierres dures, telles que le quartzite, le basalte, le granit, la calcédoine et le schiste, a précédé l'introduction d'outils tranchants en cuivre. Cependant, même si les artisans de Merimde possédaient des ciseaux de cuivre aiguisés, les expériences

avec des ciseaux en cuivre, en bronze et même en fer, ont démontré leur incapacité totale à tailler certaines pierres dures, en particulier les types ignés. Les techniques et les outils de pierre nécessaires pour travailler les pierres les plus dures ont continué à être développés tout au long de la période prédynastique, permettant aux artisans dynastiques non seulement de façonner les pierres dures en statues, obélisques, sarcophages et une multitude d'autres artefacts, mais d'inciser des hiéroglyphes et des reliefs. en eux.

À el-Badari et autres Badarian (vers 4500–3800 avant JC) dans le sud de l'Égypte (Haute), les artisans prédynastiques ont également créé des grattoirs et des perforateurs en pierre non bifaciaux ; les outils lithiques bifaciaux comprenaient des pointes de projectiles à base concave, des faucilles denticulées, ainsi que des triangles et des haches ovales.¹⁴ Les artisans badariens travaillaient également le cuivre; les premiers objets en cuivre badariens trouvés en Égypte, quatre perles, ont été trouvés par Guy Brunton dans la tombe 596 à Mostagedda, un site juste au nord d'el-Badari. Vers la fin du Badarian et son développement dans la période Nagada I, de petites épingles, aiguilles, forets et poinçons ont été martelés à partir de cuivre. Les récipients en pierre moulée de Badarian ont fait leur apparition vers 4000 avant JC, et le revêtement de perles de stéatite sculptées et d'autres pierres, avec une glaçure alcaline verte a également été inventé à cette époque.¹⁵ La fabrication de la glaçure de ces perles est associée à l'utilisation de malachite, un minerai de cuivre, qui a ensuite été mélangé et cuit avec une poudre de sable fin finement broyée, éventuellement obtenue en broyant les récipients en pierre avec des foreurs en pierre et du sable abrasif.¹⁶

Le Nagada I (Amratian , vers 4000–3600 avant JC) a suivi, chevauchant quelque peu la période badarienne. Les ouvriers d'el-Amra, en Haute-Égypte, creusaient des jarres à anse en basalte avec des meules et du sable abrasif ; les pattes courtes étaient probablement perforées avec des outils et des meules en silex. Les têtes de masse en forme de disque (par exemple Bristol Museum, Royaume-Uni, H1502) et de forme biconique (« marteau ») ont été taillées, probablement avec des outils en silex, et meulées à partir de granit et d'autres pierres dures. Ils étaient perforés de la même manière que les cornes des navires.

La période Nagada II (Gerzean , vers 3600–3200 avant JC) a vu l'introduction d'outils en cuivre véritablement fondus et coulés à Ma'adi, une colonie juste au sud du delta,¹⁷ et à Gerza et dans d'autres sites du sud de l'Égypte. Ces outils comprenaient de petits ciseaux, des herminettes et des haches, mais des scies, des couteaux et des houes étaient également coulés et battus en forme. À la fin des périodes Nagada II et III / Dynastie 0 (vers 3300–3050 avant JC) la fabrication de vases en pierre s'est établie comme une industrie importante, en particulier à Hierakonpolis.

Associée et probablement responsable de l'expansion de la production de récipients en pierre au début de la période Nagada II, en particulier des récipients fabriqués à partir de pierres plus dures, a été l'introduction du tube de cuivre monté de force sur un outil de forage spécialisé pour récipients en pierre. Le tube de forage aurait été formé autour d'une tige de bois à partir de plaques de cuivre coulées finement battues.¹⁸ Il est possible que des tubes plus grands, de diamètre dynastique, aient été coulés directement dans des moules tubulaires verticaux.¹⁹

La conception du foret tubulaire en cuivre est une copie du roseau commun (*Phragmites communis*) forme tubulaire, qui a été convertie en cuivre après ca. 3600 avant JC pour forer des pierres plus dures que l'ardoise, la calcite et le calcaire dur (voir chapitre 4). Le forage expérimental de ces pierres avec des tubes de roseau et nécessairement du sable sec



Illustration 1.5 Une foreuse tubulaire en cuivre reconstruite montée sur un arbre en bois

abrasif indique que les artisans auraient pu forer l'ardoise, la calcite et le calcaire dur de cette façon avant ca. 3600^{avant J.C.}, notamment pour perforer les têtes de masse fabriquées à partir de ces trois pierres. Le tube de cuivre, également utilisé avec du sable abrasif, était monté en force à l'extrémité d'un arbre droit (Figure 1.5) entraîné avec un arc, l'extrémité supérieure de l'arbre tournant dans une pierre angulaire évidée et lubrifiée tenue à la main. Les expériences avec les tubes de cuivre et l'abrasif de sable suggèrent que les têtes de masse en pierre ignée Nagada II, en particulier les variétés sphériques et en forme de poire (par exemple Bristol Museum H1936) nécessitant de longs trous, étaient sans aucun doute perforées avec des tubes de forage en cuivre, et non avec des foreurs de pierre inappropriés. Il est donc possible que la capacité de tubes de cuivre relativement longs à percer profondément dans la pierre ait influencé la conception des têtes de masse Nagada II.

L'établissement d'une industrie florissante de navires en pierre vers la fin de la période prédynastique a généré d'abondantes quantités de déchets, des poudres de sable finement broyées propices à la fabrication de modèles et de moulagés.

noyaux de faïence, en plus des émaux de faïence. Le changement des noyaux de pierre sculptée émaillée avait commencé environ 4000^{avant J.C.}²⁰Par conséquent, la disponibilité de poudres de déchets à base de quartz finement broyées contenant des quantités variables de particules de cuivre usées par les forets tubulaires a-t-elle remplacé les poudres de glaçage spécialement fabriquées contenant de la malachite pour le glaçage des noyaux de faïence ? Cette question sera étudiée au chapitre 9.

Le Dynastique *propulsé par l'arc* tube de cuivre perçait l'intérieur des sarcophages en pierre et les trous de levage dans leurs couvercles, mais il était à l'origine utilisé dans cette configuration pour perforer les longues pattes tubulaires sculptées à l'extérieur de certains récipients en pierre dure de la fin de Nagada II.²¹ Une scie à tranchant plat en cuivre coulé, également utilisée avec du sable abrasif, a peut-être coupé certaines des pierres dures pour les façonner (par exemple, le granit) après qu'elles soient devenues à la mode pour l'architecture pendant les première et deuxième dynasties, bien que la première utilisation attestée d'un tel abrasif La scie s'est produite sous la troisième dynastie avec le sciage en forme du sarcophage en calcite de Sekhemkhet.²² Cette scie était essentielle pour couper les sarcophages en pierre ignée à la forme, ainsi que pour enlever l'excès de pierre de la statuaire.²³

À la suite de l'établissement de techniques fiables de travail de la pierre prédynastique, les tailleurs de pierre dynastiques sont devenus des maîtres maçons et des fabricants accomplis d'autres artefacts en pierre, certains exemples notables étant la statuaire (figure 1.6), des récipients de nombreuses formes, tailles et types de pierre, ainsi que des perles de pierre, stèles, sarcophages et obélisques. Le calcaire, le grès et, dans une moindre mesure, le granit, ont été utilisés pour la construction (figure 1.7), avec l'utilisation occasionnelle de calcite, de basalte et de quartzite.²⁴ la construction de pyramides a commencé à la IIIe dynastie, après une période de construction de mastabas en briques crues incorporant de la pierre.²⁵ La vraie pyramide, celle aux côtés lisses, développée plus tard sous la Troisième Dynastie,

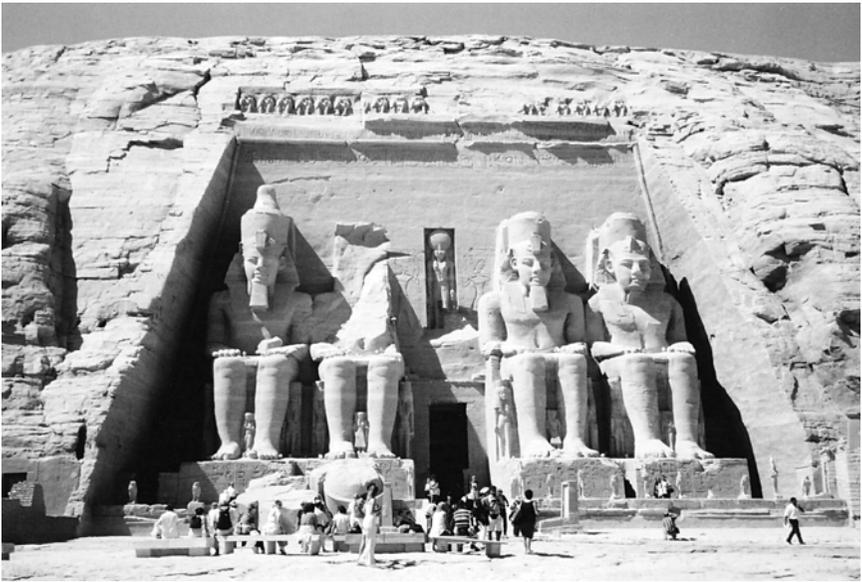


Figure 1.6 Les immenses statues de Ramsès II à Abou Simbel, en Haute-Égypte, taillées dans le grès rouge

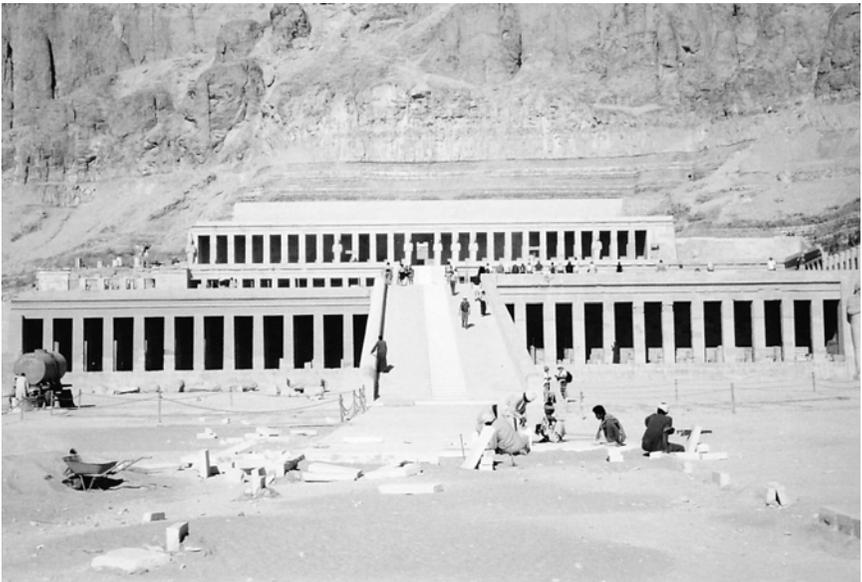


Illustration 1.7 Temple de la dix-huitième dynastie d'Hatchepsout à Deir el-Bahri, Haute-Égypte

atteignant son apogée sous la IV^e dynastie sur le plateau de Gizeh avec la construction de la Grande Pyramide (Figure 1.8) et d'autres dans le groupe de Gizeh (Figure 1.9).

Certaines des recherches effectuées pour ce livre examinent de près les capacités de divers outils à travailler différentes pierres. Partout où la clarification et l'accent sont nécessaires, les pierres sont fournies avec leurs numéros de dureté Mohs,²⁶ mais il y a un résumé d'une coupe transversale des pierres utilisées pour les bâtiments, les vaisseaux, les perles, la statuaire, les obélisques et autres artefacts dans le tableau 1.1. Les pierres sont placées en deux groupes : Mohs 3, et en dessous, et au-dessus de Mohs 3. Cette division est indiquée par l'utilisation test de la réplique et des outils reconstruits en cuivre, bronze, fer et pierre sur une sélection de pierres tendres et dures. (Remarque : une pierre particulière préférée des Égyptiens, la calcite (carbonate de calcium), est généralement déclarée avoir une dureté Mohs 3, mais les tests indiquent que la calcite égyptienne est probablement d'environ Mohs 3,5. La calcite se trouve près d'une limite divisant ce qui peut être référé comme les pierres "plus tendres" - celles qui se coupent facilement avec des ciseaux en cuivre et en bronze - et les pierres "plus dures", qui nécessitent des outils en pierre pour les tailler efficacement. La calcite, qui tombe du côté le plus dur de cette limite, a définitivement besoin d'outils en pierre pour la couper et l'inciser : les marques obtenues en coupant et en incisant expérimentalement la calcite avec des outils en pierre sont similaires aux marques sur les anciens artefacts de calcite. Cette pierre est souvent confondue avec le gypse (sulfate de calcium, Mohs 2), qui possède un aspect similaire. Cependant, les tests ultérieurs montreront que la calcite et le gypse nécessitent des outils et des méthodes complètement différents pour les couper, les inciser et les percer.)



Illustration 1.8 Pyramide de la quatrième dynastie de Khéops sur le plateau de Gizeh



Illustration 1.9 Pyramide de Khafré à Gizeh

Les tests avec des outils en métal et en pierre suggèrent que tout le travail de la pierre dans l'Égypte ancienne était régi par une connaissance intime des différences subtiles entre les caractéristiques de travail de tous les outils et la dureté des matériaux travaillés. Les anciens ouvriers savaient empiriquement quel outil pouvait être utilisé pour un matériau particulier, et lequel ne le pouvait pas. Dans cette optique, les expérimentations actuelles sur le silex et le chert, pierre ressemblant au silex, indiquent qu'en ce qui concerne la taille de certaines pierres ignées, seul le vrai silex possède les caractéristiques de taille requises. Les outils en chert sont nettement plus doux que le silex pour ce type de travail. De manière confuse, le mot « silex » a été utilisé dans la littérature archéologique et dans les expositions de musées, pour identifier et étiqueter les artefacts fabriqués à la fois en silex et en chert. Les tests avec des outils en chert montrent qu'il peut couper la plupart des matériaux que le silex peut, mais pas tous. Par conséquent, pour plus de simplicité, le mot « silex » sera utilisé pour désigner à la fois le silex et le chert. Cependant, pour les essais de pierres ignées du chapitre 3, une différenciation entre silex et chert sera mentionnée si nécessaire.

La production de perles de pierre a commencé au Néolithique,²⁷ continuant dans les périodes prédynastique et dynastique. L'agate, l'améthyste, la cornaline et le lapis-lazuli représentent certaines des pierres utilisées pour la fabrication des perles.²⁸ A toutes les époques de l'ancienne Égypte, le peuple aimait passionnément les perles; par conséquent, un grand nombre a été fabriqué. Il est clair que la création d'un nombre aussi prodigieux de perles est devenue hautement organisée. En particulier, un système de production de masse, illustré dans plusieurs tombes du Nouvel Empire à Thèbes, en Haute-Égypte (Figure 1.10), a radicalement changé la façon dont les perles de pierre étaient percées, entraînant une augmentation significative de la production manufacturière.

*Tableau 1.1*Liste des pierres et dureté Mohs

Calcul	Mohs 3 et moins	Au-dessus de Mohs 3
agate		6.5
améthyste		7
basalte		7
brèche		5-6
calcite		3-4
cornaline		7
calcédoine		6.5
chert		7
calcaire cristallin		6
diorite		7
dolérite		7
feldspath		6-6,5
silex		7
grenat		6.5
granit		7
grauwacke (schiste)		4-5
gypse	2	
grès dur		5
malachite		4
marbre		4-5
mica	2-3	
obsidienne		5
porphyre		7
quartz		7
quartzite		6-7
grès rouge	2.5	
serpentin		4
ardoise		4-5
calcaire tendre	2.5	
stéatite	3	
syenite		7

Bien que la fabrication de récipients en pierre ait commencé pendant la période prédynastique, les premières illustrations du processus se trouvent dans deux tombes de la cinquième dynastie à Saqqarah ;²⁹la dernière illustration se trouve dans la tombe d' Aba de la vingt-sixième dynastie à Thèbes .³⁰La première représentation de l'outil de forage/alésage du fabricant de récipients en pierre, l'idéogramme utilisé dans les mots liés à « l'art », « l'artisanat », et en d'autres termes, date de la troisième dynastie à Saqqarah.³¹Parmi les pierres façonnées en vases figuraient le basalte, la brèche, la calcite, la diorite, le granit, le grauwacke, le gypse,³²calcaire, marbre, porphyre, serpentine et stéatite.³³Vers la fin de l'Ancien Empire, le nombre de récipients en pierre a considérablement diminué, la plupart des pierres les plus dures étant devenues inutilisables.³⁴Cependant, la fabrication de vases en pierre s'est poursuivie jusqu'à la fin de la civilisation égyptienne, une grande partie d'entre eux étant en calcite, une pierre relativement tendre par rapport au granit ou à la diorite.³⁵

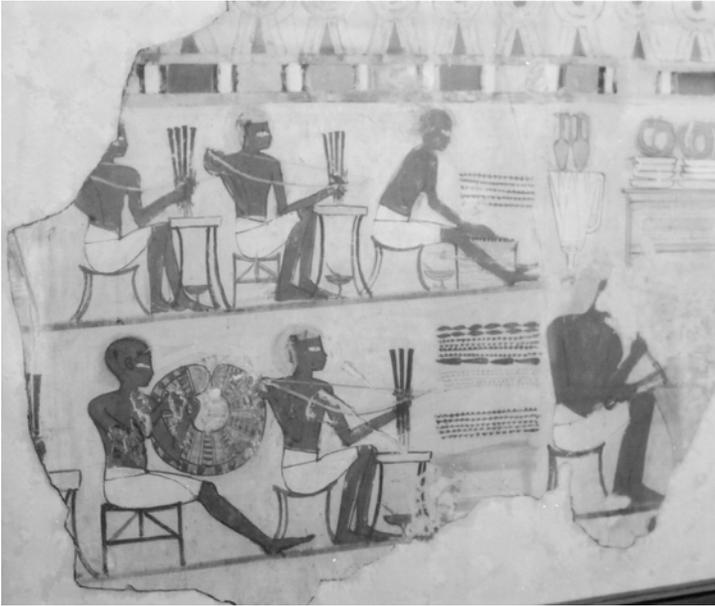


Illustration 1.10 Un atelier de fabrication de perles de la XVIII^e dynastie à Thèbes, en Haute-Égypte. De la tombe de Sebekhotep (BM 920). (© Le British Museum)

La première version de l'outil permettant aux anciens artisans de produire une telle variété de conceptions de récipients était une simple adaptation d'une branche d'arbre fourchue, d'un tube de cuivre ajusté de force à son extrémité inférieure et de deux poids en pierre fixés juste sous la fourche adaptée. Plus tard dans l'histoire dynastique, une seule pierre hémisphérique a été utilisée comme poids. Après avoir foré avec le tube, une deuxième branche fourchue, inversée cette fois, a été attachée à l'arbre d'origine, la fourche s'engageant avec des foreurs de pierre de formes diverses; le forage suivait généralement le processus de forage tubulaire, le sable agissant comme un abrasif dans les deux situations. L'arbre fourchu entraînait également des croissants de silex et de chert, sans abrasif, pour percer dans du gypse mou.³⁶ Les outils de forage et d'alésage reconstruits ont été efficaces pour fabriquer un vase expérimental en calcaire, dont il sera question dans un chapitre ultérieur.

Un certain nombre d'outils anciens et leurs utilisations sont familiers aujourd'hui. Les formes du ciseau, de l'herminette et de la hache actuels restent inchangées, mais les métaux utilisés pour les fabriquer ont changé. Les outils de coupe modernes sont en acier au carbone, mais dans les temps anciens, le cuivre, suivi du bronze et du fer, étaient les métaux utilisés. Bien que les outils en cuivre aient de plus en plus complété l'utilisation d'outils en silex tranchants à la fin de la période néolithique ca. 4000 avant JC, l'emploi du silex pour l'outillage s'est poursuivi au moins jusqu'à la Vingt-cinquième dynastie.³⁷

Quelques modèles d'outils métalliques prédynastiques étaient probablement des copies de certaines formes d'outils en silex, en particulier les tranchants. Par exemple, la hache à main en pierre et le couteau à tranchant droit ont été copiés en cuivre sans aucune modification fondamentale de



Illustration 1.11 Un grattoir prédynastique en silex

leurs formes, mais il est également probable que le ciseau plat en cuivre et la lame d'herminette s'inspirent du grattoir en silex (figure 1.11), ou du burin.³⁸ Expériences³⁹ ont démontré que ces types d'outils en silex peuvent être frappés, comme des ciseaux, pour enlever des morceaux de bois et de pierre, ou pour écrémer des copeaux fins par un coup oblique dirigé vers l'ouvrier, tout comme l'herminette en métal à manche. Le couteau et la faucille en silex denticulés^{40a} probablement stimulé la création de la scie à bois dentelée en cuivre. Certains outils ont été localisés par des archéologues sur différents sites en Égypte, mais diverses marques d'outils sur des artefacts, ainsi que des représentations funéraires de techniques de travail, indiquent que les principaux outils industriels sont inconnus. Ceux-ci comprennent les ciseaux à pierre, les poinçons et les grattoirs utilisés pour travailler les pierres dures, la perceuse tubulaire en cuivre et son arc associé, la scie à tailler la pierre, l'équipement de forage de perles de production en série du Nouvel Empire et l'outil de creusement de récipients en pierre, bien que certains silex et les croissants de chert et les foreurs de pierre utilisés conjointement avec cet outil sont en notre possession.⁴¹

Les artistes des tombes n'ont jamais enregistré certaines techniques importantes, l'une d'entre elles étant la fabrication du sarcophage à partir d'un seul bloc de pierre. De plus, toutes les fonctions des outils que nous possédons peuvent ne pas être connues, ce qui obscurcit notre compréhension de la technologie ancienne. Ce manque d'information sur les méthodes de fabrication masque aussi la manière dont les anciens ouvriers organisaient leur travail. Bien que l'on sache beaucoup de choses sur la vie des anciens Égyptiens en général, l'artisan reste encore une figure indistincte du paysage technologique. Cependant, des expériences récentes de fabrication de faïence⁴² suggèrent maintenant que plusieurs embarcations étaient connectées. Il est possible que les ouvriers des vases et des sarcophages en pierre aient fourni les poudres de forage et de sciage finement broyées aux fabricants de faïence, aux foreurs de billes de pierre et aux polisseurs de pierre. Cela indique qu'il existait une société industrielle interdépendante et interdépendante, dans laquelle une industrie dépendait des déchets ou des sous-produits d'une autre industrie.

Sous la première dynastie, la plupart des grands métiers étaient pleinement établis, en particulier la fabrication de vases en pierre et de faïence. L'État égyptien joue désormais un rôle important dans l'expansion de cet artisanat vers d'autres industries à part entière. L'inhumation cérémonielle du pharaon dans des tombes dynastiques primitives incorporant de la pierre, ainsi que la fourniture d'un mobilier funéraire opulent, ont obligé les artisans à inventer de nouvelles techniques. Sous les première et deuxième dynasties, la pierre était employée pour les murs de soutènement, pour les toits, les planchers et les revêtements muraux, ainsi que pour les blocs de herse et les passerelles.⁴³ La pierre la plus couramment utilisée était le calcaire, mais le granit était utilisé pour les blocs de revêtement de sol dans la tombe de la première dynastie de Den à Abydos,⁴⁴ bien que ces blocs aient été grossièrement taillés – et non sciés – pour les façonner. Un meuble funéraire important, le sarcophage, était en bois aux Ire et IIe dynasties,⁴⁵ calcaire et calcite à la IIIe dynastie,⁴⁶ suivi du granit sous la quatrième dynastie;⁴⁷ différents outils et techniques étaient nécessaires pour travailler chaque matériau. De même, l'utilisation de blocs de coffrage calcaire géables dans la pyramide de la troisième dynastie de Zoser à Saqqarah a conduit à l'emploi des blocs de noyau et de coffrage mégalithiques dans les pyramides de Gizeh. Cependant, l'assemblage précis de grandes surfaces de joint entre elles a nécessité l'invention d'un outil pour tester la planéité des surfaces. Bien que le plus ancien spécimen connu, trois courtes tiges de bois, dont deux reliées par une corde tendue, proviennent de la douzième dynastie Kahun,⁴⁸ la précision de l'ajustement du bloc de pierre dans la Grande Pyramide indique que cet outil de test de surface existait sous la quatrième dynastie.

Les facteurs environnementaux affectent le progrès inventif. Le Nil, les terres cultivées et les déserts environnants ont dû influencer le cours du développement technologique. Par exemple, les artisans connaissaient très tôt le caractère abrasif du sable : le pain contaminé par le sable causait une forte usure de leurs dents.⁴⁹ Les Égyptiens auraient remarqué que le sable est normalement sec, et qu'il se déplace, ou s'écoule, comme un fluide, soit par gravité, soit par la pression exercée par un objet ou la force du vent. Les premiers ouvriers utilisaient de l'argile et de la boue pour la poterie et les briques, mais ces matériaux étaient probablement exploités d'autres manières, qui seront examinées au chapitre 8. Une autre ressource importante était le bois. Le bois, en plus d'être utilisé pour les meubles, fournissait des manches pour des outils, tels que l'herminette et la hache, ainsi que pour les arcs et les arbres qui entraînaient les forêts tubulaires en cuivre. Les arbres égyptiens indigènes comprenaient l'acacia, le palmier dom, le figuier sycomore et le tamaris. Les bois tendres et durs étrangers utilisés comprenaient le frêne, le hêtre, le cèdre, l'orme, le tilleul, le chêne, le pin et l'if.⁵⁰ Après env. 3600 avant J.C., le charbon de bois était nécessaire en quantités toujours croissantes pour fondre les minerais de cuivre et pour fondre les cuivres et les bronzes destinés à être coulés dans des outils et d'autres objets. D'autres matériaux facilement disponibles étaient la pierre, y compris le silex et le chert, et le cuir, les huiles, le natron (un mélange de sels de sodium alcalins), les minéraux (pierres semi-précieuses), l'ivoire, les os, les cendres et les tiges de plantes. Ceux-ci comprenaient le roseau commun, le papyrus, la demi-herbe, la paille et le lin.

Les expériences et leur interprétation

Les répliques d'outils de coupe ont été testées pour la dureté avant et après le martelage en forme ; après test, leur espérance de vie a été calculée. Quelques éprouvettes expérimentales de cuivre et de bronze ont été testées en dureté par JR Maréchal.¹ Cependant, des répliques de ciseaux en alliage de cuivre et de bronze, formant *unséries* contenant différents métaux constitutifs, ou des pourcentages croissants d'entre eux, n'ont jamais été testés pour la dureté et utilisés sur divers matériaux pour établir des relations entre les duretés des ciseaux et leurs capacités de coupe. Bien qu'il soit évident que fait un ciseau, la certitude de son utilisation ancienne précise sur différents matériaux ne peut pas être énoncée avec une confiance totale. Par conséquent, les ciseaux en cuivre et en bronze ont été minutieusement étudiés. De même, sans utiliser une réplique de l'outil de test de surface, il n'y a pas suffisamment d'informations provenant des illustrations de la tombe pour être certain de toutes ses applications anciennes. Là où les outils ne sont connus que par des illustrations de tombes, leur construction et leurs utilisations sont encore plus déconcertantes.

Trois stratégies artisanales particulières sont encore pratiquées aujourd'hui. Il s'agit de la coulée de métal, du meulage manuel d'outils et d'artefacts à l'aide de pierres abrasives et/ou d'une poudre abrasive libre, et du raclage du métal par des grattoirs en métal plus dur. Ces trois compétences importantes sont nées il y a des millénaires et bien que certains matériaux d'outils aient changé par rapport aux anciens, les techniques de base sont, dans l'ensemble, similaires à celles inventées par les anciens artisans. Malgré toute forme de turbulence dans la société humaine, de nombreuses compétences sont transmises d'une génération à l'autre au sein de familles ou de petits groupes de travailleurs. De cette façon, des chaînes ininterrompues d'artisans peuvent s'étendre des temps anciens à nos jours. Certaines technologies se sont perdues, mais d'autres ont survécu ou ont été adaptées à de nouvelles techniques.

Il y a beaucoup de questions qui nécessitent des réponses définitives. Par exemple, les déchets d'une industrie ont-ils été livrés à d'autres industries, établissant ainsi une relation entre elles ? Quelles ont été les implications pour le changement social et l'organisation causées par l'introduction et le développement des nouvelles technologies ? Quelles sont les blessures subies par les travailleurs et certains procédés industriels ont-ils gravement affecté leur santé ? La technologie dynastique interdépendante s'est-elle véritablement transformée en interdépendance industrielle - un concept moderne ? Certaines nouvelles perspectives à ces questions, et à d'autres questions pertinentes, seront discutées dans les chapitres suivants.

Remarques

- 1 WK Simpson (éd.) *La littérature de l'Égypte ancienne*, New Haven et Londres : Yale University Press, 1972, pp. 329-36.
- 2 C'est très perceptible lors d'un apprentissage dans un atelier d'ingénierie. La plupart des artisans sont plus
- 3 que disposés à montrer bon nombre de leurs compétences sur une période de plusieurs années. Parfois, un artisan qui prend sa retraite transmettra une importante collection d'outils à un apprenti privilégié, soucieux d'assurer leur utilisation continue.
- 4 J. Bronowski, *L'ascension de l'homme*, Londres : British Broadcasting Corporation, 1973, p. 115.
- 5 Ibid., p. 94-5.
- 6 Ibid., p. 417, 421.

- 7 MA Hoffmann, *L'Égypte avant les pharaons : les fondements préhistoriques de l'Égypte Civilisation*, Londres et Henley : Routledge et Kegan Paul, 1980, p. 102.
- 8 G. Caton-Thompson, 'L'industrie néolithique du nord du désert du Fayoum', *JRAI* LVI, 1926, p. 309-23 ; G. Caton-Thompson, 'Fouilles récentes dans le Fayoum', *Homme* XXVIII, 1928, p. 109-13 ; G. Caton-Thompson et EW Gardner, *Le Fayoum du désert*, Londres: The Royal Anthropological Institute of Great Britain and Ireland, 1934; H. Junker, 'Vorläufiger Bericht über die Grabung der Akademie der Wissenschaften in Wien auf der neolithischen Siedlung von Merimde-Benisalame (Westdelta)', *Anzeiger der Akademie der Wissenschaften à Vienne, Philosophisch-historische Klasse* XVI-XXVIII, 1929, p. 156-250 ; V-XIII, 1930, p. 21-83 ; I-IV, 1932, p. 36-97 ; XVI-XXVII, 1933, p. 54-97 ; X, 1934, p. 118-32 ; I-V, 1940, p. 3-25 ; P. Bovier-Lapierre, 'Une nouvelle station néolithique (El Omari) au nord d'Hérouan (Égypte)', *Compte rendu, Congrès International de Géographie* IV, 1926 ; F. Debono, 'El Omari (près d'Hérouan), exposé sommaire sur les campagnes des fouilles 1943-1944 et 1948', *ASAÉ* 48, 1948, p. 561-9 ; F. Debono et B. Mortensen, *El Omari : une colonie néolithique et d'autres sites dans les environs de Wadi Hof, Helwan*, Mayence : Philipp von Zabern, 1990.
- 9 Junker, 'Vorläufiger Bericht über die Grabung der Akademie der Wissenschaften in Wien auf der neolithischen Siedlung von Merimde-Benisalame (Westdelta)'; J. Boessneck et A. von den Driesch, *Die Tierknochenfunde aus der neolithischen Siedlung von Merimde-Benisalame am westlichen Nildelta*, Munich : Staatliche Sammlung Ägyptischer Kunst, 1985 ; J. Eiwanger, *Merimde-Benisalame*, Mayence : Philipp von Zabern, volumes I-III, 1984-92.
- dix Junker, 'Vorläufiger Bericht über die Grabung der Akademie der Wissenschaften in Wien auf der neolithischen Siedlung von Merimde-Benisalame (Westdelta)'.
- 11 Idem.
- 12 Idem.
- 13 Idem.
- 14 Brunton et Caton-Thompson, *Civilisation badarienne et vestiges prédynastiques près de Badari*, p. 35-7, 61-2. Ibid., p. 27-8, 41.
- 15
- 16 Avant l'avènement du meulage de trous tubulaires dans des pierres dures avec des tubes de cuivre et des récipients en pierre dure abrasifs *devront* être broyés à l'intérieur avec des foreurs de pierre et du sable. Il n'y avait pas d'autre méthode non destructive à relativement faible risque à la disposition des artisans.
- 17 M. Amer, 'Rapport annuel des fouilles de Maadi, 1930-32', *Bulletin de la Faculté des arts*, 1933; M. Amer, 'Rapport annuel des fouilles de Maadi, 1935', *CdÉ* XI, 1936.
- 18 Une longueur de conduite d'eau en cuivre, de 4,7 cm de diamètre, a été trouvée au complexe de la Cinquième Dynastie de Sahure par L. Borchardt. Le tuyau doit avoir été formé autour d'une âme en bois (L. Borchardt, *Das Grabdenkmal des Königs Sa-h. tu-re*, Leipzig : Hinrichs, 1910, vol. Je, p. 78).
- 19 DA Stocks, 'Industrial technology at Kahun and Gurob: experimental manufacture and test of replica and reconstructed tools with specified uses and effects on artefact production', thèse non publiée, University of Manchester, 1988, vol. Je, p. 59.
- 20 JFS Stone et LC Thomas, 'L'utilisation et la distribution de la faïence dans l'Orient ancien et l'Europe préhistorique', *Actes de la Société préhistorique* 22, 1956, pages 37ff. Par exemple, un
- 21 vase sphéroïdal aplati à oreilles prédynastique en syénite, MM 1776.
- 22 WB Émeri, *Égypte archaïque*, Harmondsworth : Penguin Books, 1984, p. 80 ; MZ Gönim, *La pyramide enterrée*, Londres : Longmans, Green and Company, 1956, p. 124. Les tests montrent que la calcite est suffisamment dure pour nécessiter un sciage avec une scie à cuivre à tranchant plat et un abrasif de sable. Une scie à cuivre dentelée est incapable de couper ce

- pierre (DA Stocks, « Fabrication de sarcophages en pierre dans l'Égypte ancienne », *Antiquité* 73, 1999, p. 919).
- 23 Par exemple, le sarcophage en granit de la quatrième dynastie de Khéops ; la triade de schiste de Menkaure (CM JE46499) est ainsi sciée.
- 24 A. Lucas et JR Harris, *Matériaux et industries de l'Égypte ancienne*, Londres : Edward Arnold, 1962, p. 52ff. Voir aussi, 'Stone', dans PT Nicholson et I. Shaw (eds) *Matériaux et technologie de l'Égypte ancienne*, Cambridge : Cambridge University Press, 2000.
- 25 Emery, *Égypte archaïque*, p. 175-91.
- 26 Le minéralogiste allemand Friedrich Mohs a conçu une échelle de dureté pour les minéraux. Dans l'échelle de Mohs, le minéral le plus tendre, le talc, vaut 1 ; diamant est 10. L'échelle des nombres n'est pas une progression arithmétique.
- 27 Par exemple, des perles de pierre ont été fabriquées sur le site néolithique d'el-Omari, en
- 28 Égypte. Lucas et Harris, *EMI*, p. 41. Voir aussi, 'Stone', dans Nicholson et Shaw (eds) *AEMT*.
- 29 CMJE39866; G. Steindorff, *Das Grab des Ti*, Leipzig : Hinrichs, 1913, pl. 134. N. de G. Davies, *Les*
- 30 *tombes rupestres de Deir el Gebrawi*, Londres : Egypt Exploration Fund, 1902, vol. Je, pl. XXIV.
- 31 CM Firth, JE Quibell et J.-P. Lauer, *La pyramide à degrés*, Le Caire : Imprimerie de l'Institut Français d'Archéologie Orientale, 1935-1936, vol. Je, pl.
- 32 93. Lucas et Harris, *EMI*, p. 413. Ibid., p. 420-1.
- 33
- 34 Ibid., p. 422.
- 35 Ibid., p. 421-3.
- 36 Caton-Thompson et Gardner, *Le Fayoum du désert*, p. 105.
- 37 A. Tillmann, 'Dynastic stone tools', in KA Bard (éd.) *Encyclopédie de l'archéologie de l'Égypte ancienne*, Londres et New York : Routledge, 1999, p. 265.
- 38 DA Stocks, 'Interrelations techniques et matérielles : implications pour le changement social dans l'Égypte ancienne', dans W. Wendrich et G. van der Kooij (eds) *Moving Matters: Ethnoarchéologie au Proche-Orient. Actes du Séminaire international tenu au Caire, 7-10 décembre 1998*, Leyde : Université de Leyde, 2002, p. 107.
- 39 DA Stocks, « Le travail du bois et de la pierre dans l'Égypte ancienne : la fabrication et l'utilisation expérimentales d'outils en cuivre, en bronze et en pierre », thèse non publiée, Université de Manchester, 1982, pp. 181-95 ; Stocks, 'Technologie industrielle', vol. Je, p. 193. Stocks, «
- 40 Interrelations techniques et matérielles : implications pour le changement social dans l'Égypte ancienne », p. 107.
- 41 Par exemple, deux croissants de chert d'Umm-es-Sawan (MM 8353-4) ; JE Quibell et FW Green, *Hiérakonpolis II*, Londres: British School of Archaeology in Egypt, 1902, pls. XXXII, LXII.
- 42 DA Stocks, 'Indications de l'interdépendance industrielle de l'Égypte ancienne : une déclaration préliminaire', *Le bulletin archéologique de Manchester* 4, 1989, p. 21-6 ; DA Stocks, 'Dérivation de l'âme de la faïence égyptienne antique et des matériaux de glaçure', *Antiquité* 71, 1997, p. 179-82.
- 43 Émeri, *Égypte archaïque*, p. 76, 182.
- 44 Ibid., p. 80.
- 45 AJ Spencer, *La mort dans l'Égypte ancienne*, Harmondsworth : Penguin Books, 1982, p. 166.
- 46 Spencer, *Décès*, p. 167 ; Gonim, *La pyramide enterrée*, p. 124.
- 47 WMF Pétrie, *Les pyramides et les temples de Gizeh*, Londres : Champ et Tuer, 1883, p. 84-90.
- 48 Maintenant MM 28.
- 49 FF Leek, 'Dents et pain dans l'Égypte ancienne', *JE* 458, 1972, p. 126-32 ; FF Leek, 'L'histoire dentaire des momies de Manchester', dans AR David (éd.) *Projet de momie du musée de Manchester. Recherche multidisciplinaire sur les restes momifiés égyptiens antiques*, Manchester : Manchester University Press, 1979, p. 75.

- 50 Lucas et Harris, *EMI*, p. 429–56. Voir aussi, 'Wood', dans Nicholson et Shaw (eds) *AEMT*.
- 51 JR Maréchal, 'Les outils égyptiens en cuivre', *Métaux, Corrosion, IndustriesXXXII*, 1957, p. 132–3.

2

SUR LE FIL DU RASOIR

Outils de coupe pour cuivre et bronze

L'introduction du cuivre fondu et coulé au début de la période Nagada II a permis aux artisans d'imiter les formes de certains outils de pierre en cuivre, mentionnés pour la première fois par WM Flinders Petrie en 1917. Suite à la suggestion de Petrie, il est probable que plusieurs outils en pierre prédynastiques particuliers aient été développés et transformés en cinq outils métalliques. C'étaient les grattoirs en silex²(le ciseau en cuivre et la lame d'herminette), la lame et le couteau de faucille en silex denticulé ou dentelés³(la scie à bois dentelée en cuivre, mais aucun exemple prédynastique n'a été trouvé), le couteau en silex⁴(le couteau de cuivre) et la hache de pierre,⁵fabriqué en silex et autres pierres dures, mais parfois emmanché pour être utilisé comme lame d'herminette (la hache de cuivre). Voir la figure 2.1 pour des répliques d'herminettes en cuivre, une scie et une hache. La technologie de fabrication d'outils en cuivre a raccourci les délais de fabrication d'outils en pierre, une fois que l'infrastructure de fabrication d'outils en cuivre est devenue pleinement établie. Deux outils en pierre, la hache à main et le couteau, ont conservé leurs formes et fonctions de base après avoir été coulés et martelés dans du cuivre, bien que la tête de hache en cuivre, utilisée par les charpentiers et les constructeurs de bateaux (figure 2.2),⁶ était maintenant équipé d'un long manche en bois pour augmenter la force d'un coup.

L'écaillage pour façonner, ou le meulage, des outils en pierre exigeait des compétences qui différaient énormément des techniques de moulage et de battage utilisées pour fabriquer des copies métalliques de leurs configurations uniques. La disparité entre les deux matériaux est très marquée. Alors que la fabrication de chaque type de matériau en outils produisait les tranchants souhaités, permettant aux artisans de fendre et de façonner les matières premières, couler un outil métallique dans un moule ouvert et horizontal en sable, déjà façonné en forme d'outil, provoquait immédiatement une réduction de le temps de fabrication par outil : cette déclaration ne tient pas compte des exigences logistiques considérables nécessaires pour créer le cuivre fondu en premier lieu. Les compétences pour battre une coulée dans un outil et pour meuler son tranchant étaient plus simples que celles pour travailler le silex, bien que les outils en silex,⁷plus nombreux que les outils métalliques dans la ville ouvrière de la XIIe dynastie de Kahun, située dans le district de Fayoum à l'ouest du Nil. Kahun a été construit par Sésostri II pour abriter les ouvriers qui ont construit sa pyramide à proximité



Illustration 2.1 Deux répliques d'herminettes en cuivre (en bas et deuxième à partir du haut), une scie à bois en cuivre dentelée (deuxième à partir du bas) et une hache en cuivre de forme ronde, avec pattes de fixation (en haut). L'outil du milieu est une scie à cuivre à tranchant plat d'essai



Illustration 2.2 Ouvriers de la XIIe dynastie brandissant des haches à manche. De la tombe de Pepionkh à Meir. (Avec l'aimable autorisation de l'Egypt Exploration Society)



Figure 2.3. Les formes du ciseau plat (en haut) et du ciseau à coupe transversale (en bas) se rétrécissent

Lahoun. La fabrication et l'utilisation intensives d'outils en silex là-bas indiquent peut-être leur utilité continue et leurs coûts de production inférieurs.⁸ La prépondérance des outils en pierre peut également indiquer une pénurie de métal pour la fabrication d'outils plus gros à cet endroit sous la douzième dynastie. Cependant, la taille par écaillage sous pression de couteaux en silex, illustrée dans deux tombes du Moyen Empire à Beni Hasan, en Moyenne Égypte,⁹ suggère que les compétences pour travailler le silex étaient encore très demandées à cette époque.

Les artisans utilisent souvent le même outil à des fins différentes. Par exemple, le grattoir long et fin en silex, tenu à deux mains, peut être utilisé pour éplucher ou gratter des matériaux dans une direction *une façon* du travailleur, ce que les artisans font aujourd'hui avec des ciseaux à bois en acier. Cependant, en tenant l'outil dans une main, il pourrait être frappé comme un ciseau avec un maillet. Mais en liant un grattoir en silex à un long manche en bois, son tranchant fixé à angle droit, ou un outil en cuivre de conception similaire, il pouvait maintenant être balancé *vers* l'opérateur pour le rasage du bois (par exemple une scène de construction navale dans la tombe de Ti de la cinquième dynastie à Saqqarah) et du calcaire tendre des murs de la tombe.^{dix}

Les ciseaux en cuivre égyptiens se sont développés en deux formes de base, le « plat » et le « croisé », qui sont encore utilisés aujourd'hui (figure 2.3). Le ciseau plat en cuivre, pour travailler la pierre tendre, était martelé en une large section à double effilement, se terminant par un tranchant aiguisé des deux côtés; parfois, comme un ciseau à bois moderne, une seule pente se terminait par une arête.¹¹ Le ciseau plat était utile pour enlever rapidement de grandes surfaces de bois et de pierre tendre, où un parfaitement plat et lisse

la surface n'était pas importante au départ. Pour faire le ciseau à coupe transversale,¹²une barre de cuivre a d'abord été martelée en un double cône, mais a ensuite été tournée de 90 ° et martelée en un deuxième double cône plus étroit. Le bord plus court de ce ciseau concentrait un coup sur une zone de coupe plus petite; le menuisier égyptien utilisait la force supérieure du ciseau à coupe transversale pour couper et soulever le bois des mortaises profondes (figure 2.4). Le tranchant du ciseau plat fonctionnait sur les matériaux de la même manière que la lame d'herminette. Cependant, le double avantage d'un ciseau par rapport à une herminette est la capacité de l'artisan à diriger la lame vers une position exacte sur la pièce, *avant* de un coup est porté, et aussi de faire varier l'angle d'attaque du burin d'un angle aigu par rapport à la pièce à usiner jusqu'à une position verticale, ce qui permet à l'outil de fendre les matériaux comme une lame de hache.

La tête de hache est plus robuste que la lame d'herminette, ayant un corps plus court mais plus épais afin de résister aux coups violents. Des têtes de hache égyptiennes en cuivre et en bronze (alliage de cuivre avec de l'étain) étaient attachées à un manche en bois en utilisant des trous de fixation simples ou multiples percés dans le bord supérieur de l'outil,¹³ou avec des pattes moulées sur la lame (voir figure 2.1, en haut), la véritable hache à douille ne faisant son apparition en fer qu'après la vingt-sixième dynastie.¹⁴ La hache est tout aussi efficace pour fendre le bois dans le sens du fil que pour le couper en travers du fil, comme pour l'abattage d'arbres. Les lames d'herminette et de hache égyptiennes étaient invariablement attachées à leurs tiges en bois avec des lanières de cuir ou de cuir brut.¹⁵

Les lames d'herminette et de hache en cuivre sont très différentes les unes des autres dans leur mode de construction et d'utilisation. La tête de hache et les tranchants du ciseau étaient également meulés et affûtés des deux côtés de la lame, mais le tranchant de l'herminette était meulé d'un seul côté de la lame, généralement du côté extérieur.¹⁶La hache était précédée du ciseau et de l'herminette, qui étaient plus petites que la hache dynastique, le cuivre étant encore rare après la coulée du ciseau et l'herminette a commencé à l'époque prédynastique.



*Graphique 2.4*Un ciseau à coupe transversale en cuivre de Kahun (du MM 204). (Avec l'aimable autorisation du Manchester Museum, l'Université de Manchester)



*Figure 2.5*Un ciseau en cuivre muni d'un manche en bois de Kahun (d'après MM 194a). (Avec l'aimable autorisation du Manchester Museum, l'Université de Manchester)

point final; l'augmentation du volume de cuivre requis pour une tête de hache a retardé son introduction dans la trousse à outils de l'artisan.

Des ciseaux en cuivre plus fins pour le travail du bois étaient équipés de manches en bois (figures 2.5, 2.6).¹⁷ Une poignée permettait à l'artisan de mieux saisir l'outil lorsqu'il dirigeait et tenait le ciseau sur la pièce à usiner avant de la frapper avec un maillet (figure 2.7). Ce type de ciseau, lorsqu'il est utilisé avec les deux mains,



Figure 2.6 Une réplique de ciseau à bois



Figure 2.7 Un maillet entraînant une réplique d'un ciseau à bois



Illustration 2.8 Une réplique de maillet



Illustration 2.9 Une lame d'herminette à collet, qui aidait à la fixer à un manche en bois (d'après MM 203). (Avec l'aimable autorisation du Manchester Museum, l'Université de Manchester)

ont également été utilisés pour éplucher délicatement le bois, et peut-être la pierre tendre dans certains cas, en plus de racler les coins difficiles de ces deux matériaux pour une finition soignée. Un manche en bois offrait également une certaine protection au maillet (figure 2.8) contre les dommages causés par l'impact lors de l'utilisation. Il est probable que les ciseaux métalliques aient été utilisés principalement sur de la pierre relativement tendre et, bien que d'anciens maillets aient été récupérés avec de graves dommages circonférentiels à leurs surfaces (par exemple MMA 10.130.1013; BM 41187), il peut y avoir eu un autre outil causant ces dommages, qui seront discutés dans le chapitre suivant. Tous les maillets n'étaient pas en bois; au moins un maillet en calcaire a été localisé par Petrie à Kahun.¹⁸ La forme d'un bois

maillet parfois varié. Par exemple, une scène de construction navale dans la tombe de Ti de la cinquième dynastie à Saqqarah représente des artisans brandissant de longs maillets en forme de massue pour enfoncer leurs ciseaux à bois dans les bois du navire. Fait intéressant, deux ouvriers utilisant des maillets similaires sont assis à cheval sur une solive en bois soutenue à chaque extrémité par de solides branches droites et fourchues, chacune en forme de « Y », qui sont fermement ancrées dans le sol pour plus de stabilité.

La largeur des lames d'herminette en cuivre, à collet (figure 2.9) ou droite (figure 2.10), variait considérablement,¹⁹et étaient parfois nettement plus larges que les bords des ciseaux. L'herminette à large lame (figure 2.11), lorsqu'elle est balancée avec précision de sorte que la lame fasse un coup de surface brillant, est utile pour la finition des surfaces de calcaire tendre, et ce type de travail a été étudié par Ernest Mackay dans les chapelles funéraires de Thèbes.²⁰Il est possible de faire une distinction claire entre les outils employés dans ces circonstances. Imaginez un travailleur droitier utilisant un maillet et un ciseau sur un mur de tombe en calcaire. Des fentes, de la largeur de la lame du ciseau, traversaient le mur dans une direction particulière. Par exemple, si le ciseau partait d'une position en haut à droite, la fente se déplacerait en diagonale vers le bas vers la gauche. L'inverse serait vrai pour un artisan gaucher. De plus, la ligne de déplacement du ciseau s'écartait ici et là d'une ligne droite (secousse du ciseau), et cela a été observé et commenté par Mackay.²¹ L'herminette, cependant, peut être balancée aussi bien de chaque côté par les artisans gauchers que droitiers; la lame laisse des marques obliques, qui partent de la gauche ou de la droite. Fait intéressant, les artistes anciens ont représenté une proportion beaucoup plus faible d'artisans gauchers par rapport aux droitiers dans les scènes de tombes. Le ratio aujourd'hui est d'environ un gaucher pour neuf droitiers, et un ratio similaire existait probablement dans l'Égypte ancienne, à en juger par les représentations des tombes.²² L'herminette était utilisée, en conjonction avec des caoutchoucs de grès, comme substitut du rabot pour obtenir des surfaces lisses et planes sur des objets en bois : les anciens artisans égyptiens n'ont jamais développé le rabot pour le travail du bois.



Figure 2.10 Une réplique d'herminette en cuivre



Figure 2.11 Une grande réplique de lame d'herminette

Deux autres tranchants méritant un rang élevé dans l'ordre hiérarchique des outils des artisans sont les scies à cuivre dentelées et à tranchant plat (voir la figure 2.1). Il est important qu'une distinction entre les scies avec et sans dentelures soit faite à ce stade. Les premières scies dentelées localisées pour couper le bois, et peut-être pour couper la pierre tendre, datent de la troisième dynastie ;²³ en plus d'une scie modèle de cette dynastie, une scie en cuivre à encoche a été trouvée à Meidum.²⁴ Il est probable, cependant, que la scie dentelée soit apparue même avant la première dynastie, lorsqu'elle était utilisée pour scier le bois des cercueils. Les scies étaient parfois martelées avec des soies, pour s'adapter à des manches en bois incurvés, bien que dans au moins une cinquième dynastie, le manche ait été martelé à partir de la même feuille de cuivre formant la lame.²⁵ La scie la plus rudimentaire était une lame entaillée en la coupant sur un objet pointu.²⁶ D'autres dentelures peuvent avoir été produites par des caoutchoucs de grès à arêtes vives. La technologie de production de scies à lame mince est liée à la coulée de plaques de cuivre directement dans des moules ouverts en sable ou en poterie et au martelage de la coulée refroidie en feuilles plus minces.

Les preuves de la scie en cuivre à tranchant plat pour couper la pierre dure sont en partie liées aux fentes et aux marques de scie trouvées sur des sarcophages en pierre et d'autres objets en pierre. Par exemple, le sarcophage en calcite de la troisième dynastie de Sekhemkhet et le sarcophage en granit rose de la quatrième dynastie de Khufu ont été sciés à la forme.²⁷ Certaines fentes ont été reliées par des preuves archéologiques à l'utilisation du cuivre,²⁸ mais des expériences récentes avec de la pierre dure²⁹ ont démontré de manière incontestable que des scies dentelées en cuivre, en bronze ou encore en fer et en acier n'auraient pas pu couper un matériau aussi résistant. Une évaluation plus complète du type de scie à bord plat et de sa méthode de travail sera discutée au chapitre 4, mais tout ce qu'il faut dire pour le moment est que la coulée d'une plaque de cuivre dans un moule ouvert a également été utilisée pour la fabrication. scies plates à tailler la pierre, en plus des scies à bois dentelées.

Les artisans de l'Égypte ancienne utilisaient également deux types d'outils métalliques tranchants pour percer les matériaux, et il s'agissait de la perceuse à bois en cuivre à arc pour percer des trous dans les meubles.³⁰ et la perceuse tubulaire en cuivre aplatie entraînée par l'arc et également directement actionnée à la main.³¹ Ce tube était utilisé pour percer non seulement des trous profonds dans la pierre, mais aussi des fentes peu profondes de forme tubulaire. Un exemple de cette pratique, considérée comme décorative, est un bol en diorite (MM 10959) appartenant à Khaba de la III^e dynastie, qui était muni d'une rainure véritablement circulaire taillée dans la section centrale de la surface inférieure intérieure.

La fabrication de récipients en pierre dure s'est accélérée pendant la période Nagada II, en raison de son expansion grâce à l'utilisation accrue du foret tubulaire en cuivre pour le creusement initial de l'intérieur des récipients. Les première et deuxième dynasties ont vu la poursuite de la production de récipients en pierre dure et, par la suite, sous les troisième et quatrième dynasties, le tube a également été utilisé pour creuser des sarcophages en calcite et en pierre plus dure. L'utilisation de tubes en cuivre à bouts plats et de scies à bords plats sur la pierre partage des origines technologiques similaires et leur enquête complète doit attendre un chapitre ultérieur. Cependant, la production de cuivre a dû augmenter à mesure que la demande de tubes de taille de pierre augmentait tout au long de la période prédynastique tardive.

et les premières périodes dynastiques, et encore augmentées par l'exigence de cuivre pour les scies à tailler la pierre, car l'utilisation de la pierre à des fins architecturales et autres est devenue à la mode pendant et après la première dynastie. Ces demandes de production de cuivre pour tubes et scies s'ajoutaient bien entendu à la fourniture de cuivre pour haches, herminettes, ciseaux, scies dentées, couteaux, perceuses à bois, poinçons et autres outils.

La perceuse à bois en cuivre à arc, illustrée dans plusieurs scènes de tombes,³² était utilisée pour faire des rangées de trous dans les chaises et les lits pour ancrer des treillis de soutien en lanière ou en corde de cuir (figure 2.12). Dans le tombeau de Rekhmiré à Thèbes,³³ les deux utilisations sont illustrées. La perceuse à bois était également utilisée pour percer un joint de menuiserie pour admettre des goujons (goupilles en bois) pour le fixer et le renforcer.³⁴ Pour faire tourner une perceuse à bois, la corde d'un arc faisait un seul tour autour d'un arbre en bois dans lequel la perceuse était fermement ajustée. Le haut de l'arbre a été arrondi pour s'adapter parfaitement dans un trou de roulement de forme hémisphérique lubrifié, qui a été ébréché et lissé dans la face inférieure d'une pierre angulaire. Le lubrifiant était peut-être du suif. Les anciens forets à bois pouvaient avoir la forme d'un ciseau fin et plat (par exemple BM 6042-3). Cependant, d'autres lames de forage ont probablement été formées en battant le métal en un cône plat, puis en le façonnant comme une pointe de flèche.³⁵ Deux forets à bois ont été fabriqués pour l'essai (figure 2.13), l'un avec un tranchant plat et aiguisé, l'autre muni d'une pointe de coupe en forme de pointe de flèche. Aucun foret prédynastique pour perforer le bois n'a jamais été découvert.³⁶

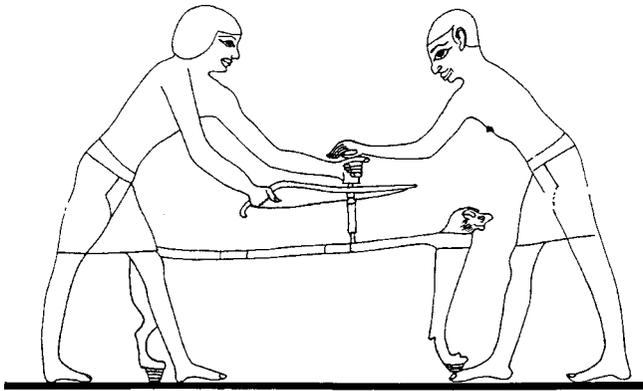


Figure 2.12 Deux ouvriers perçant un trou dans un cadre de lit. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Ré' à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LIII. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

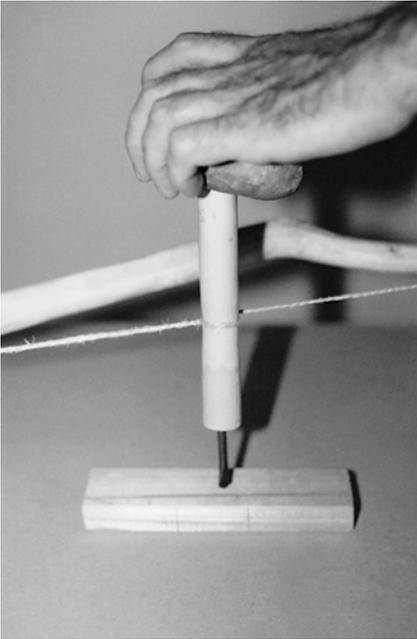


Illustration 2.13 Une réplique d'un arc et d'une perceuse à bois

Un groupe de fours : la clé de l'expansion de la fabrication

Moules ouverts horizontaux pré-dynastiques pour la coulée du cuivre³⁷ ont probablement été enfoncés dans du sable humide avec des pierres angulaires (Figure 2.14) : ces moules ne peuvent être utilisés qu'une seule fois. Cependant, dans la ville ouvrière de la XII^e dynastie de Kahun, Petrie³⁸ a trouvé des moules de poterie réutilisables et ouverts recouverts d'une couche lisse d'argile et de cendre, pour les haches, les ciseaux et les couteaux ; les moules en poterie cuite ont permis la production en série d'outils de forme identique, augmentant leur disponibilité pour le travail. Petrie a trouvé des couteaux en cuivre coulé non travaillés, environ 4 pouce (6 mm) d'épaisseur,³⁹ qui ont ensuite été martelés jusqu'aux fines lames nécessaires. La coulée expérimentale d'une lame de scie à coupe plate en cuivre dans un moule de sable ouvert et peu profond a révélé que le fond du moule, lorsqu'il est entièrement recouvert de cuivre fondu, a créé une coulée de 5 mm d'épaisseur (Figures 2.15, 2.16, 2.17).⁴⁰ Par conséquent, tout artefact en cuivre ancien nécessitant une épaisseur finie inférieure à 5 mm, comme une lame de scie dentelée pour couper le bois, devait être martelé plus fin à partir de son épaisseur de fonte d'origine d'environ 5 mm. Cependant, tout artefact nécessitant une épaisseur finie de 5 mm ou plus pourrait être laissé à son épaisseur de coulée. Ce phénomène sera examiné au chapitre 4 en relation avec des fentes de scie jusqu'à 7/8 pouce (5 mm) de large,⁴¹

vu dans les artefacts en pierre dure de Petrie.

Poterie fermée et moules en pierre (Figure 2.18),⁴² en deux moitiés (ex CM JE37554), et la cire perdue (*cire perdue*) a créé de petits moulages solides.



Illustration 2.14 Un moule pressé dans du sable humide pour couler une scie à lame plate



Illustration 2.15 Moulage d'une lame de scie en cuivre à tranchant plat dans un moule à sable ouvert

De nombreuses figures de cire pour le processus de coulée ont été trouvées. De bons exemples sont la figure d'Isis, un hippopotame, un faucon et un vautour,⁴³ mais de grands moules à cire perdue, avec des noyaux d'argile enveloppés dans la cire, produisaient des moulages creux qui consommaient relativement moins de métal. Les noyaux des moules fermés peuvent avoir été fabriqués à partir d'argile ou de poterie séchée au soleil, en plus de sable mélangé à des matières organiques.⁴⁴



Figure 2.16 Une lame d'herminette en cuivre coulé



Illustration 2.17 Une lame de scie à bois en cuivre coulé



Illustration 2.18 Un moule en pierre expérimental pour couler un ciseau

Les fours égyptiens antiques ont développé deux méthodes pour insuffler de l'air dans leurs fours de fusion et de fusion. C'étaient la sarbacane,⁴⁵ et les soufflets à pédale de la XVIII^e dynastie.⁴⁶ Aux périodes prédynastique et dynastique, le four de fusion peut avoir été une fosse peu profonde creusée dans le flanc d'une colline basse (Figure 2.19), ou dans une vallée, une technique employée dans le Wadi Nasb dans le Sinaï. Un tel four-trou aurait été connecté à partir de son

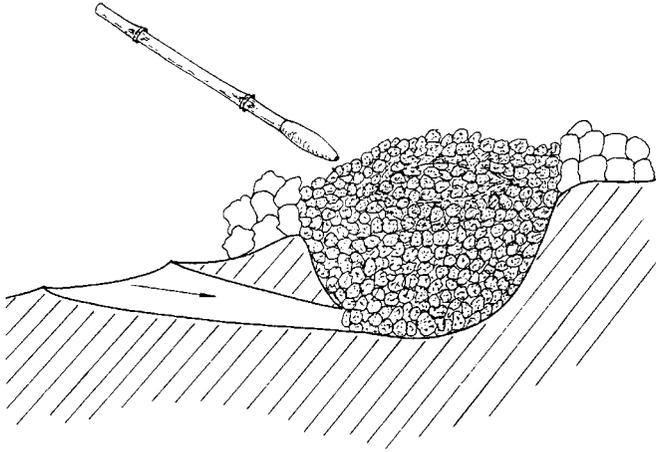


Illustration 2.19 Une éventuelle construction d'un ancien four de fusion

base à l'air libre par une tranchée en pente pour admettre le vent. CT Curly^{47a} a trouvé un four de fusion dans le Sinaï, qui consistait en un trou de 75 cm de profondeur dans le sol entouré d'un mur de pierre perforé de deux trous d'admission de vent. Cependant, il est probable que les sarbacanes aient été utilisées en conjonction avec de l'air naturellement admis, maintenant une température plus élevée; le vent n'est pas toujours fiable. L'air des fours de fusion Dynastic était alimenté par des chalumeaux, jusqu'à l'avènement du soufflet à pédale.

Des illustrations de tombes datant de l'Ancien Empire montrent des fours de fusion soit à la surface du sol, soit à l'intérieur d'une forme de cheminée, représentée en élévation latérale.⁴⁸ Ces fours sont tous alimentés en air par des chalumeaux. Une illustration de la tombe de Mereruka de la sixième dynastie à Saqqarah montre deux creusets en forme de rhyton placés dos à dos au-dessus de la surface du sol, et il semble peu probable que de tels fours aient été assistés par le vent. Il a été suggéré par Alessandra Nibbi⁴⁹ que trois de ces creusets étaient adossés pour s'appuyer, permettant aux gaz chauds de circuler librement ; chaque creuset aurait été à 120° l'un de l'autre. Dans la tombe de Hapu de la XVIIIe dynastie,⁵⁰ deux ouvriers utilisent des sarbacanes en conjonction avec un soufflet actionné au pied ; cela peut indiquer un grand creuset plein de bronze, qui nécessitait de l'air supplémentaire pour le faire fondre.

Les trous des anciens fours de fusion étaient probablement tapissés de pierres avant d'être remplis de charbon de bois et de minerai, le trou fini mesurant environ 30 cm de diamètre, avec une hauteur d'environ 25 cm. Des fours de ces dimensions ont été examinés par B. Rothenberg sur un site de fusion de cuivre chalcolithique à Timna dans le désert du Néguev.⁵¹ Leur efficacité a été examinée par RF Tylecote et PJ Boydell,⁵² qui a construit des fours expérimentaux alimentés au charbon de bois. L'admission contrôlée d'air dans un four de fusion est cruciale pour que son intérieur atteigne la température nécessaire à la fusion du métal contenu dans un creuset ; le cuivre exige

une température de 1083°C. Pour les bronzes contenant des quantités variables d'étain, des températures plus basses sont suffisantes. Par exemple, un bronze contenant 10 % d'étain a un point de fusion inférieur d'environ 80°C à celui du cuivre pur. Tylecote et Boydell ont découvert qu'un débit d'air de 200 l/minute, délivré par une tuyère, élevait la température du four à 1300°C,⁵³ plus que suffisant pour fondre du minerai ou faire fondre du cuivre dans un creuset. Le four d'essai, de dimensions similaires aux fours Timna, permettait à un débit d'air de 200 l/minute de fondre 1 kg de cuivre. Ce four possédait également une capacité de fusion maximale de 2 kg de bronze, lorsqu'il fonctionnait avec un débit d'air de 600 l/minute.

Certaines expériences ont été menées avec une sarbacane reconstruite fabriquée à partir d'une canne de bambou, mais dans l'Égypte ancienne, les sarbacanes auraient été construites à partir du roseau commun ressemblant à du bambou : les artistes des tombes ont représenté des sarbacanes avec des joints de feuilles clairement définis.⁵⁴ Les représentations des tombes montrent également que deux types de sarbacanes étaient utilisés. Dans la tombe de la XVIII^e dynastie de Rekhmiré à Thèbes,⁵⁵ une sarbacane de bijoutier mesure environ 60 cm de long, tandis qu'un dessin de la tombe de Pepionkh de la XII^e dynastie représente des sarbacanes de fournaise d'environ 1,5 m de long (figure 2.20).⁵⁶ La canne expérimentale possédait un diamètre externe moyen d'un peu plus de 2 cm et une longueur de 56 cm (Figure 2.21). Les ouvriers ont adapté de manière cruciale un roseau dans un tube en enfonçant un roseau ou un bâton plus mince et aiguisé à travers les cloisons à feuilles et en unissant les sections creuses précédemment séparées. La canne expérimentale a été adaptée de la même manière.

Le chalumeau expérimental était équipé d'une tuyère en argile pour protéger la matière organique de la chaleur intense du four ; avant que l'argile ne sèche dur, un trou de buse de 8 mm de diamètre a été fait avec un bâton. Il est probable que les diamètres des anciens trous de buse variaient d'un tuyau à l'autre. Quel volume d'air par minute un ancien fourneau pouvait-il fournir au four avec un chalumeau ? Une expérience a déterminé qu'une respiration complète (environ 5 litres) pouvait être évacuée par le tuyau en une seconde. Un taux durable de livraison d'air s'est avéré être d'environ



Illustration 2.20 Chalumeaux de four antique. De la tombe de Pepionkh à Meir. (Avec l'aimable autorisation de l'Egypt Exploration Society)



Illustration 2.21 La sarbacane reconstituée



Illustration 2.22 Un bijoutier de la XVIII^e dynastie au travail. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rê à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LIV. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

50 l/minute : souffler plus d'air provoquait les effets désagréables de l'hyperventilation. Cette affection provoque des étourdissements qui, dans les cas extrêmes, peuvent évoluer en paralysie des membres. Elle est causée par une respiration si profonde et si rapide que le dioxyde de carbone dans le sang tombe à des niveaux dangereusement bas. Le dioxyde de carbone est essentiel au bon fonctionnement du système nerveux central.

La principale limite à la capacité d'un four à faire fondre le métal est le volume d'air qui peut être constamment maintenu pendant le processus de fusion. Les illustrations de tombes dans la tombe de Ti de la cinquième dynastie, la tombe de Mererouka de la sixième dynastie, la tombe de Pepionkh de la douzième dynastie et la tombe de Hapu de la dix-huitième dynastie représentent des travailleurs de la fournaise soufflant de l'air par des tuyaux dans des fours.⁵⁷ Sans l'aide du vent, et avant que le soufflet actionné au pied ne soit utilisé à la XVIII^e dynastie, la capacité de fusion devait être directement liée au nombre de travailleurs employés pour le service de la sarbacane. Dans la tombe de Mereruka à Saqqarah six hommes sont équipés de sarbacanes. Ce nombre de travailleurs pourrait fournir suffisamment d'air, s'il le soufflait au débit expérimental de 50 l/minute (un total de 300 l/minute), pour faire fondre plus de 1 kg de cuivre dans un seul creuset. Illustrations dans la tombe d'Asa à Deir el Gebrâwi,⁵⁸ dans la tombe de Pepionkh de la XII^e dynastie⁵⁹ et dans la tombe de Hapu de la XVIII^e dynastie, représentent respectivement quatre, trois et deux ouvriers soufflant dans des tuyaux. Bien que la tombe de Rekhmire représente un seul joaillier utilisant une sarbacane à un petit brasero, posé sur un support bas, cet ouvrier ne fait pas fondre le métal, mais le chauffe probablement avant de le souder (figure 2.22).

Le soufflet à commande au pied était un développement intéressant de la technologie des fours; de bons exemples sont montrés dans les tombes thébaines de la XVIII^e dynastie de Rekhmire (Figure 2.23), Puyemre et Nebamun et Ipuky.⁶⁰ Il s'agit de deux bols de poterie circulaires à fond plat, placés de manière adjacente, chacun équipé d'un

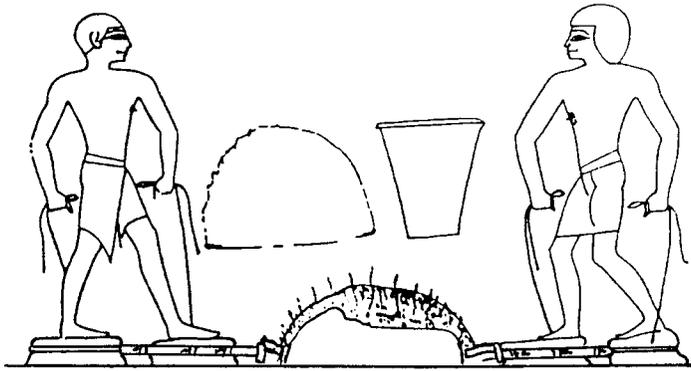


Figure 2.23 Pied-soufflet de la XVIIIe dynastie en fonctionnement. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē' à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LIV. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

diaphragme en cuir lâche étroitement attaché au bord; une longue ficelle est attachée au centre de chaque diaphragme. En saillie vers le four, du côté de chaque bol, se trouve un tube de roseau muni d'une buse en argile. (Un exemple d'un bol en poterie de la période tardive est BM 22367, de Tell Defenna. Le bol mesure 19,5 cm de haut et 56 cm de diamètre. Un tube de roseau a probablement été scellé en position avec de la boue dans le trou percé à travers le côté du bol près de son base.) Pour travailler le soufflet, un ouvrier marchait alternativement sur un diaphragme et tirait simultanément l'autre avec la ficelle attachée, levant le pied en même temps. Un rythme naturel de « marche » assurait un apport constant d'air à travers les tubes de roseaux. Peut-être un petit espace dans la boue scellant le tuyau de roseau dans le trou de sortie d'air du bol, ou à travers la buse d'argile, permettait à l'air frais d'être aspiré lorsque le travailleur relevait le diaphragme. Alternativement, un trou d'admission d'air découpé dans le diaphragme, situé sous le talon du travailleur, s'est scellé pendant le cycle de compression vers le bas.

Dans une scène de la XVIIIe dynastie dans la tombe de Rekhmire⁶¹ la fabrication d'une grande porte en bronze est représentée, ce qui a dû nécessiter l'utilisation de plusieurs fours afin de fondre suffisamment de bronze pour l'opération de coulée (figure 2.24). Même si deux ou trois creusets de métal ont été fondus dans un four à la XVIIIe dynastie, et cela n'est pas soutenu par les scènes de fours dans la tombe de Rekhmire, aucun creuset unique n'aurait pu contenir beaucoup plus qu'environ 1,3 kg de métal. Cette estimation de la capacité d'un creuset est enregistrée par Christopher Davey⁶² dans son étude de six creusets de la collection Petrie de l'University College de Londres. Un creuset de ce volume est considéré comme grand selon les normes égyptiennes, et cette quantité de métal était juste suffisante pour couler de grandes têtes de hache; les exemples sont une tête de hache en cuivre de 1,2 kg (figure 2.25) de Kahun (MM 201) et une tête de hache en bronze de 1,1 kg de Gurob (MM 616), une ville de la XVIIIe dynastie située près de Kahun.

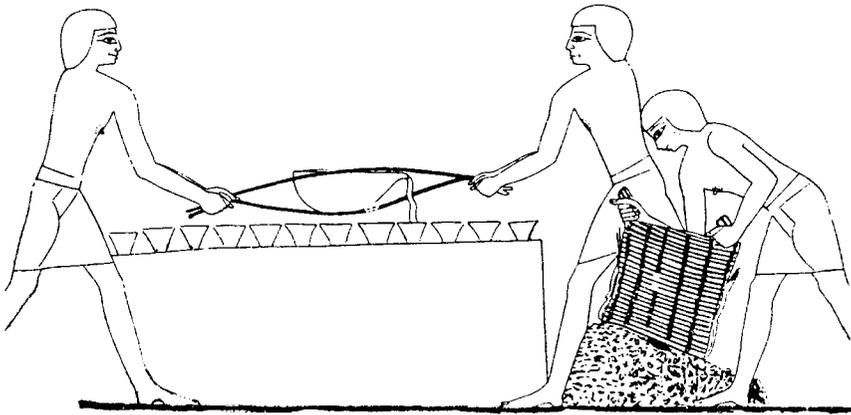


Illustration 2.24 Coulée d'une porte en bronze de la XVIIIe dynastie. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē' à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LII. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

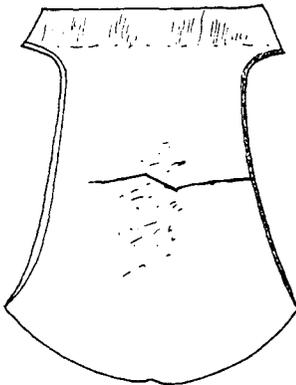


Figure 2.25 Une tête de hache en cuivre de Kahun (du MM 201). (Avec l'aimable autorisation du Manchester Museum, l'Université de Manchester)

Le creuset d'une capacité de 1,3 kg provient de Qau et est attribué à la VIIe ou VIIIe dynastie. Il a été construit à partir d'argile fine mélangée à de la paille et en forme de bol profond, avec un trou sur le côté. Ce type de creuset pouvait être basculé vers l'avant, au sol, pour décharger le métal en fusion d'une lèvres, mais d'autres types de creuset étaient portés avec des pierres plates ou des tampons de poterie (tombe de Mereruka),⁶³ et des bâtons longs et fins de couleur verte (tombe de Rekhmire, voir Figure 2.24).⁶⁴ Des bâtonnets fraîchement coupés (figure 2.26) ont été testés sur des creusets chauffés au rouge et se sont révélés suffisamment résistants à la combustion pendant une courte période. Les creusets étaient de différentes tailles et formes. Ceux-ci inclus ovale, glob-

ulaire, peu profonde en forme de large (tombe de Rekhmire),⁶⁵ en forme de bol et un creuset incurvé montré dans la tombe de Mereruka. Cette forme de creuset (rhyton), lorsqu'elle est montrée dos à dos dans la tombe de Mereruka, a été suggérée par Davey comme étant la base d'un idéogramme de l'Ancien Empire, qui indique soit l'utilisation du cuivre, soit identifie la personne comme un métallurgiste.⁶⁶ Le creuset est représenté libérant du cuivre fondu à travers un trou près de la base, mais dans la tombe de Rekhmire, deux ouvriers sont occupés à verser du bronze fondu dans un moule à partir de la lèvres d'un creuset peu profond et de forme large.⁶⁷

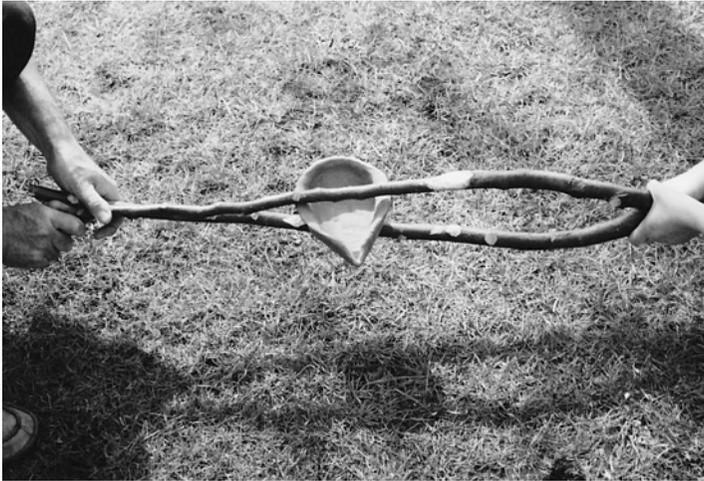


Illustration 2.26 Withies expérimentales tenant un creuset en argile

Sous la XII^e dynastie, quatre grandes boîtes en cuivre étaient coulées dans des moules fermés. Elles ont été fouillées à Tôd en Haute-Egypte par F. Bisson de la Roque.⁶⁸L'une des caisses pèse 37,5 kg et ses parois ont 1 cm d'épaisseur. Il est probable qu'entre 25 et 30 grands creusets de cuivre ont été nécessaires pour couler cette boîte en une seule opération, et il est tout à fait clair que l'utilisation de plusieurs nombres de fours était normale au Moyen et au Nouvel Empire. Les preuves archéologiques de l'emploi de forets tubulaires en cuivre de grand diamètre et de longues scies en cuivre, à partir de la troisième dynastie, pour le forage et le sciage de sarcophages en calcite et en granit indiquent que les anciens tubes et scies à tailler la pierre, en particulier les scies, nécessitaient une quantité considérable de cuivre pour fabriquer un seul outil.

Avant le besoin de tubes de cuivre de grand diamètre, à commencer par le creusement des sarcophages de calcite sous la troisième dynastie à Saqqarah, un tube de cuivre de plus petit diamètre, pour percer les vaisseaux en pierre dure, nécessitait beaucoup moins de cuivre pour le fabriquer, ne nécessitant qu'un seul four pour sa fabrication réussie. Cependant, sur les chantiers de travail de la pierre de l'Ancien Empire, où les grandes scies et les tubes étaient demandés, un groupe de fours, situé au sud des chantiers (le vent souffle normalement du nord en Égypte), devait être exploité simultanément pour la coulée de ces deux outils substantiels. Les scies les plus longues nécessitaient probablement jusqu'à 20 kg de cuivre (par exemple pour couper le sarcophage en granit de Khufu en forme), le tube de plus grand diamètre connu pour la fabrication de sarcophages (le tube de 11 cm de diamètre de Khufu - voir chapitre 4) nécessitant éventuellement entre 2 et 4 kg de cuivre, selon l'épaisseur de paroi du tube qui, pour le tube de forage du sarcophage de Khufu, restera toujours inconnue.

Les implications pour la production soutenue de cuivre et son utilisation sont immenses. Au fur et à mesure que la demande d'objets en cuivre plus grands augmentait, le nombre de fours devait augmenter jusqu'à ce qu'une fonderie soit suffisamment organisée pour

des objets de grande taille à couler par l'utilisation coordonnée de nombreux creusets. L'infrastructure industrielle nécessaire pour récupérer et fondre les minerais de cuivre, pour distribuer les lingots de métal aux sites de fonderie, pour fondre et couler le cuivre et le bronze ultérieur en petits et grands outils, et autres artefacts, a dû nécessiter une administration considérable. Sous la Troisième Dynastie, la capacité de l'Égypte à fournir à ses artisans des outils suffisants - ciseaux, haches, herminettes, scies à pierre et perceuses tubulaires, et de nombreux autres outils métalliques - était suffisamment développée pour s'attaquer à des projets de plus en plus importants, à commencer par la pyramide à degrés de Saqqarah et progressant dans la construction et l'aménagement des pyramides de la quatrième dynastie à Gizeh et plus tard dans les entreprises dynastiques. À Gizeh, Mark Lehner et son équipe du projet de cartographie du plateau de Gizeh découvrent une communauté vaste et complexe,⁶⁹

Martelage : l'art de façonner avec force

Le martelage du cuivre et du bronze pour façonner et durcir ces métaux est devenu un métier établi après l'introduction de la coulée du cuivre au début de la période Nagada II. En particulier, les outils de coupe en cuivre, puis en bronze, étaient nécessairement martelés à froid pour atteindre une dureté maximale.⁷⁰ Les pinces ne sont pas représentées dans les scènes de tombes jusqu'à la tombe de Rekhmire de la XVIIIe dynastie,⁷¹ mais il est peu probable qu'ils aient jamais été utilisés pour tenir des outils chauds en cuivre et en bronze pendant le processus de martelage. Pour illustrer que les pinces n'étaient pas nécessaires à cette fin, une barre de bronze (95 % de cuivre, 5 % d'étain) a été portée à une chaleur rouge vif et immédiatement martelée. En quelques secondes, le métal s'est fracturé en plusieurs morceaux. Le cuivre et le bronze chauffés au rouge deviennent cassants en raison des changements dans leurs structures cristallines, qui se produisent à des températures élevées.⁷² Cependant, après une période de martelage à froid, les alliages de cuivre doivent être recuits (ramollis) en les réchauffant à une couleur rouge terne et en les laissant refroidir lentement. Cela restaure la malléabilité d'un métal et retarde les fissures dans le métal causées par un martelage excessif.

Dans les scènes funéraires dynastiques, les ouvriers sont représentés à l'aide de marteaux de pierre tenus à la main (Figure 2.27).⁷³ (Normalement, les manches en bois n'étaient jamais montés sur les outils en pierre, à l'exception des pioches, des masses et des gros pilon - voir le chapitre 3.) L'artisan devait posséder une vaste collection de marteaux en pierre dure, qui étaient de différentes tailles et formes, pour faire face à différents types de métaux, tels que le cuivre, le bronze, l'or et l'argent. Les illustrations de la tombe de Rekhmire montrent des marteaux en pierre sphériques ou hémisphériques. Parfois, l'artisan utilise le côté plat de l'hémisphère en pierre, parfois la surface incurvée. On pourrait s'attendre à ce que la main et le poignet d'un travailleur soient secoués à chaque coup de marteau, ce qui, après de nombreux coups, causerait des blessures et des douleurs. Battrre expérimentalement des artefacts en cuivre et en bronze (figure 2.28), en particulier des ciseaux,



Illustration 2.27 Martelant un sphinx calcaire et une table d'offrande avec sphérique marteaux de pierre. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Ré à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LX. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

Une illustration dans la tombe de Rekhmire⁷⁴ représente une plaque coulée amincie sur une enclume de pierre lisse montée sur un bloc de bois, sa base enfouie dans la terre (figure 2.29). Un marteau en pierre sphérique est montré pour le battement initial du métal, bien que l'or et l'argent soient en fait travaillés dans la scène de la tombe, pas le cuivre. Les métallurgistes utilisaient également des marteaux de pierre portatifs sphériques et hémisphériques pour façonner des récipients en métal, qui étaient placés à l'envers sur une enclume tripode, comme le montrent les illustrations de la tombe de Rekhmire à Thèbes de la XVIII^e dynastie (figure 2.30).⁷⁵ (Il est possible que des récipients en pierre aient également été montés sur l'enclume pour lisser leur extérieur avec des caoutchoucs de pierre.) Des artisans sont représentés en train de battre des vases en métal avec le côté plat d'un marteau hémisphérique, ainsi que sa surface incurvée. En utilisant l'illustration de la tombe de Rekhmire comme guide, une enclume reconstruite du Nouvel Empire consiste en une branche fourchue, l'extrémité fourchue étant placée sur le sol à un angle aigu. Une longue tige de bois passe facilement à travers un trou incliné vers le haut, percé dans la tige unique supérieure. La tige agit non seulement comme la troisième jambe de l'enclume, mais peut être ajustée pour le travail sur les petits et les grands navires en faisant glisser la tige à travers le trou (Figures 2.31, 2.32, 2.33). Le poids d'un navire sur la tige et la branche les emboîte dans un trépied stable pendant la



Illustration 2.28 Batre un moulage de scie en cuivre reconstruit pour façonner sur une enclume de pierre avec un marteau de pierre

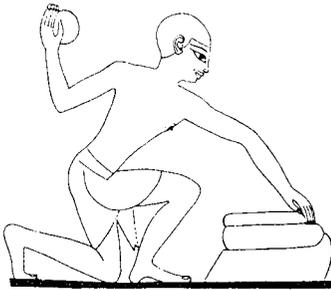


Illustration 2.29 Batre le cuivre sur une enclume de pierre montée sur un bloc de bois. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Ré' à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LV. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

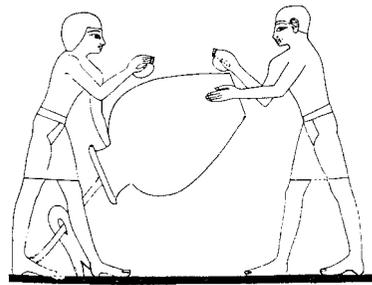


Figure 2.30 Batre un vase en métal pour le façonner à l'aide d'une enclume tripode. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekhmi-Ré' à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LIII. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

travailler. La stabilité est assurée, car tout objet à trois pattes est assez stable sur un sol inégal. Il est probable que l'extrémité de la tige, lorsqu'elle était utilisée pour des vases en argent et en or, pouvait être équipée de têtes rembourrées interchangeables, éventuellement en cuir, de forme incurvée ou anguleuse.

Nous sommes tellement habitués à ce que les marteaux modernes soient équipés de manches en bois qu'il nous est peut-être difficile de comprendre pourquoi les marteaux égyptiens en pierre n'en étaient pas équipés. Cependant, la capacité de l'artisan égyptien à exécuter des opérations de martelage délicates et lourdes sur différents métaux a dû être améliorée.

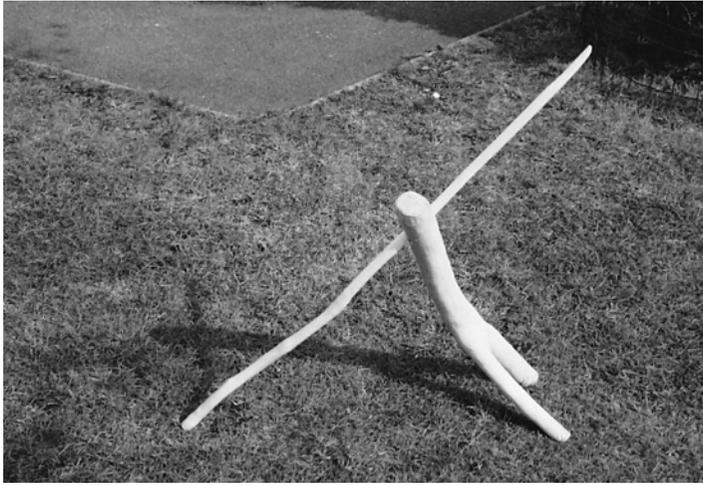


Illustration 2.31 L'enclume tripode reconstituée



Illustration 2.32 Démonstration de l'enclume tripode, ajustée pour une utilisation avec un grand navire

par une collection variée et importante de marteaux en pierre. (Il est normal pour les artisans de conserver les outils utilisés pour le travail actuel au cas où ils seraient nécessaires pour une utilisation future.) Fournir un si grand nombre de marteaux avec des manches aurait été contre-productif. Cependant, il existait un manche qui pouvait être adapté à presque n'importe quel poids ou forme de marteau en pierre - la main et le bras humains : il n'y avait aucune contrainte pour le travailleur de changer une stratégie qui avait déjà servi pendant de nombreuses générations avant l'introduction du cuivre. Le coude, en conjonction avec

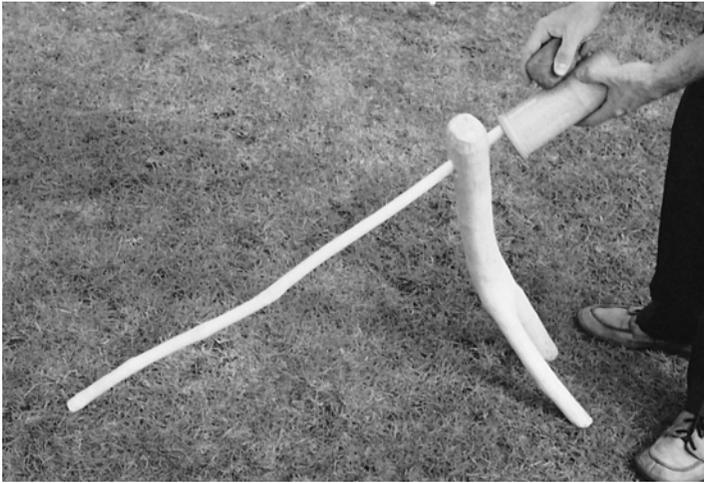


Illustration 2.33 Démonstration de l'enclume tripode, ajustée pour une utilisation avec un petit navire

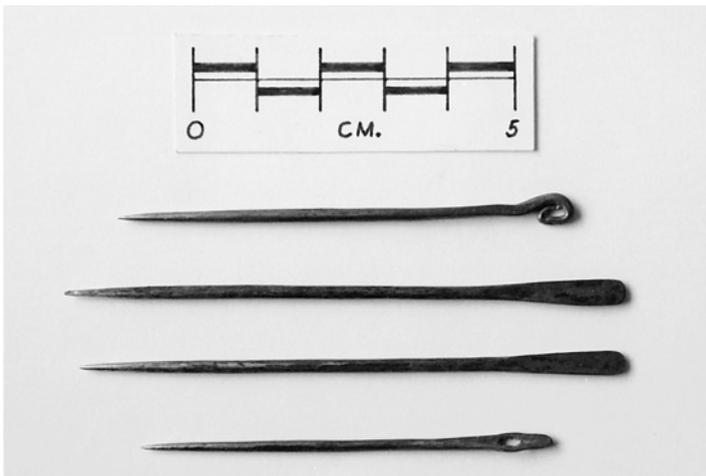


Illustration 2.34 Trois répliques d'aiguilles en cuivre dynastiques et une réplique en cuivre prédynastique

la capacité de l'avant-bras à se tordre sur près de 180 °, tandis que le haut du bras reste immobile, permet aux humains d'appliquer systématiquement des coups vers le bas qui peuvent instantanément varier en poids, fréquence et direction ; les coups les plus légers et les plus lourds nécessaires pour un travail délicat sur des récipients en or, des bijoux et des feuilles, et pour façonner des outils en métal, peuvent être surveillés de près par l'œil et le cerveau, alors qu'une tête de marteau munie d'un manche peut facilement être mal dirigée .

Ces hypothèses ont été testées en faisant des répliques (Figure 2.34)⁷⁶ de trois aiguilles de cuivre dynastiques (les originales provenaient de Kahun),^{77a} Cuivre prédynastique

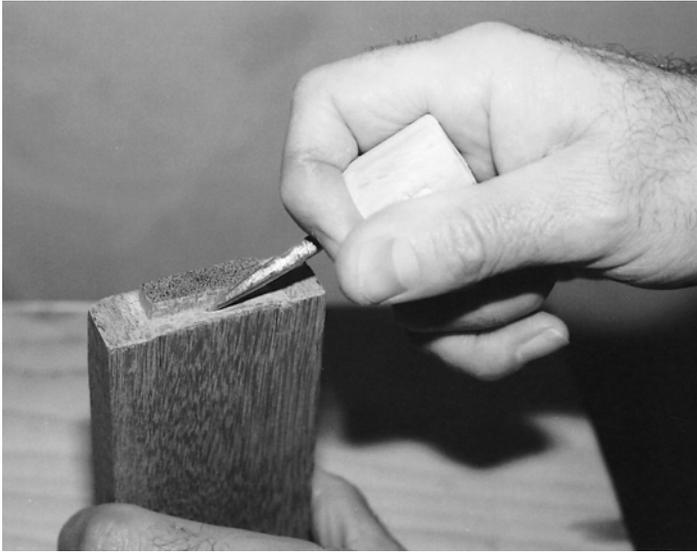


Illustration 2.35 Un foreur en bronze pointu



Illustration 2.36 Gratter une dépression dans une aiguille de cuivre recuit avec un outil en silex

épingles à tête de boucle (l'exemple vient de Nagada),⁷⁸ un foreur pointu en bronze (figure 2.35) et deux poinçons en cuivre, tous munis de poignées, et deux poinçons en bronze coulés et martelés expérimentalement. Après avoir martelé une aiguille particulière pour la façonner, un recuit complet a été effectué. Le grattage de petites dépressions peu profondes sur les côtés opposés du cuivre mou avec un microlithe en silex a commencé le trou de l'œil (Figure



Illustration 2.37 Un trou percé dans la tête d'une aiguille en cuivre recuit



Illustration 2.38 Aiguiser la pointe d'une aiguille trempée au marteau sur un morceau de grès

2.36). Un poinçon en cuivre trempé au marteau a été utilisé pour pénétrer à travers la section affaiblie (Figure 2.37). Enfin, le corps de l'aiguille a été martelé et une pointe acérée obtenue en frottant sur un morceau de grès lisse (Figure 2.38). Son Altesse Coghlan,⁷⁹ un métallurgiste, a utilisé une trempe *bronzecoup* de poing



Illustration 2.39 Un maroquinier perce une sandale avec un poinçon. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē' à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LII. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum d'art)

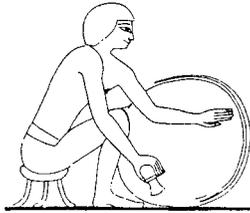


Figure 2.40 Couper une longue lanière d'une peau. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē' à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LII. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

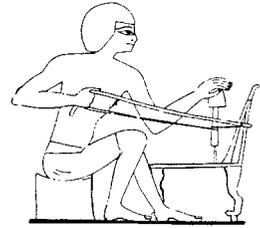


Illustration 2.41 Un arc en forme de "coude" entraînant une perceuse à bois. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē' à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LII. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

faire un trou de 4 mm de diamètre dans une feuille de cuivre recuite de 0,75 mm d'épaisseur. Cependant, les tests ont démontré qu'un *le cuivre* poinçon était capable de faire un trou dans une feuille de cuivre recuite. De même, un poinçon en bronze trempé au marteau peut percer des trous dans une tôle de bronze recuite. La tête recuite et bouclée de la broche était formée sur la perceuse qui, lorsqu'elle était fermement enfoncée dans son manche en bois, agissait comme une petite enclume.

Dans la tombe de Rekhmire,⁸⁰ les artisans sont représentés perçant des sandales en cuir avec des poinçons munis de manches en bois (figure 2.39), et des expériences avec les poinçons durcis au marteau ont montré qu'ils faisaient rapidement des trous dans le cuir, et le foreur faisait de même dans le cuir et le bois. Des scènes peintes dans cette tombe montrent des artisans coupant du cuir avec une lame de bronze recourbée (Figure 2.40). Un ouvrier enlève une longue lanière, en coupant sur le pourtour d'une feuille de cuir circulaire, et un autre découpe une partie de sandale. Les lanières étaient utilisées dans la fabrication de sandales, pour fixer les outils métalliques à leurs poignées et pour la corde de cuir (par exemple une corde de cuir tressée CM JE56282B). Une lame courbe en bronze d'essai coupe parfaitement bien le cuir.

Entrez dans la proue : un dispositif de transmission de puissance

On pense que le forage à l'arc en Égypte est né de l'arc et de la flèche, qui sont devenus l'exercice d'incendie.⁸¹ Les autres utilisations de l'arc comme dispositif de transmission de puissance de rotation comprenaient le tournage de forets tubulaires prédynastiques et dynastiques en roseau, cuivre et bronze pour faire de petits et grands trous dans la pierre; la rotation du stock de forets en bois taille dynastique pour tenir des forets à bois métalliques, des exercices d'incendie courts et éventuellement du silex ou d'autres foreurs de pierre; le single prédynastique et dynastique

forets en cuivre et en bronze pour percer des perles de pierre; l'appareil de forage simultané de billes multiples du Nouvel Empire de Thèbes, en Haute-Égypte. De bons exemples de perceuses à perles simples en bronze, qui ont été insérées de force dans des arbres en bois cintrés, ont été découverts par GA Reisner, qui les a fouillés à Kerma au Soudan.⁸²

Pour qu'un arc puisse faire tourner n'importe quelle perceuse - pour faire du feu, pour percer des perles de pierre, pour percer de la pierre avec un tube de petit diamètre - sa corde d'arc devait être ajustée à une longueur correcte, permettant d'effectuer une seule torsion autour l'arbre de forage, qui plaçait automatiquement une tension sur la corde en induisant une force de flexion dans l'arbre d'arc rigide et chevronné. Le mouvement associé à la perceuse à archet, un mouvement de poussée et de traction, ou un mouvement alternatif, est directement transformé en mouvement rotatif alterné dans le sens des aiguilles d'une montre et dans le sens inverse des aiguilles d'une montre par la prise de la corde sur l'arbre de la perceuse. L'arc égyptien servant à actionner la perceuse à incendie et la perceuse à bois pouvait parfois avoir la forme d'un bras humain, partiellement plié à un angle obtus au niveau du « coude ». Un exemple d'un tel arc, de la date du Nouvel Empire (BM 6040), a des fentes coupées à chaque extrémité avec lesquelles fixer la corde de l'arc;⁸³Un arbre d'étrave différent est incurvé à une extrémité, là où le foreur l'a tenu (voir Figure 2.44).⁸⁴Pour faire un arc ancien incliné ou incurvé, une tige principale au-dessus d'une branche fourchue de l'épaisseur correcte pouvait être coupée et la souche légèrement surélevée lissée. Lors de l'utilisation, l'arc était saisi par la plus courte des deux parties inclinées de l'arbre. Après assaisonnement, les répliques de flèches d'arc assumaient une rigidité considérable, contrairement à un arc de chasse, qui doit posséder souplesse et résistance.

La ficelle et la corde étaient fabriquées à partir d'une variété de matériaux naturels, notamment des poils de chameau, de la demi-herbe (*Desmostachya bipinnata*), les fibres de lin et de palmier dattier, ainsi que le lin, le papyrus et le cuir.⁸⁵Ancienne fabrication de ficelles et cordages

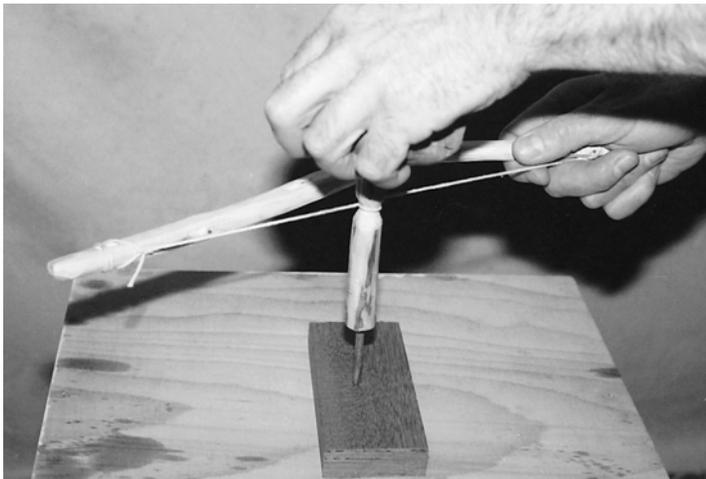


Illustration 2.42 Une réplique d'un arc en forme de « coude » entraînant une perceuse à bois

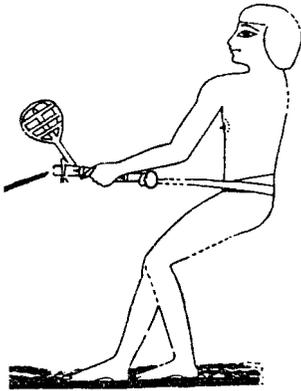


Illustration 2.43 Un dispositif de retordage de fil de la XVIII^e dynastie. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Ré à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LII. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

doit avoir été considérable, et l'industrie est enregistrée dans neuf tombes différentes. Emilie Teeter⁸⁶ a résumé les méthodes de fabrication. La première étape consistait à fabriquer des fils à partir de fibres, qui étaient toutes torsadées dans le même sens. Deuxièmement, plusieurs fils ont été torsadés les uns autour des autres dans la direction opposée. La première torsion du fil, et peut-être la torsion des fils ensemble dans le produit final, a été réalisée par un ouvrier les fixant à une extrémité, tandis que les extrémités opposées des fils étaient soit tordues à la main dans les temps anciens, soit, plus tard, par un autre travailleur utilisant un appareil à cet effet. Cet artefact, illustré dans la tombe de Rekhmire (Figure 2.43),⁸⁷ semble montrer deux fils attachés séparément à une position près de chaque extrémité d'une barre en bois, qui a été poussée à tourner en balançant un seul poids sphérique suspendu à une extrémité de la barre. Propulser rapidement la barre lestée dans un mouvement circulaire conférait une torsion aux fils.

La scène de la tombe de Rekhmire montre une ceinture autour de la taille de l'ouvrier, peut-être en cuir, qui est attachée à une partie de l'équipement ; le travailleur se penche en arrière pour exercer une tension sur les fils. Cette partie de l'équipement peut avoir consisté en une tige de roulement en bois, ou cheville, qui s'insère de manière lâche dans un trou percé au centre de la barre, similaire au principe de la cheville sculptée au sommet d'une perceuse à arc de la douzième dynastie. -stock de Kahun. (Cette cheville tournait dans un trou de dégagement percé dans un chapeau de palier en bois tenu dans la main du foreur - voir ci-dessous, note 91 et figure 2.46.) Sinon, la ceinture autour de la taille du travailleur se serait progressivement resserrée à mesure que la barre rotative tordait les fils ensemble. Il est probable, par conséquent, qu'une corde attachée à la ceinture était fixée dans un trou percé à l'extrémité de la tige d'appui la plus proche de la taille du travailleur. Une reconstruction de travail a révélé qu'un seul poids suspendu à une extrémité de la barre la maintenait en rotation rapide sur la tige porteuse, dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, selon le sens de torsion requis. Pour y parvenir, une prise serrée de la tige était nécessaire pour la faire tourner énergiquement en petits mouvements circulaires, qui transmettaient un mouvement de rotation à la barre, provoquant la torsion des deux fils ensemble.

Du matériel de fabrication de feu a été trouvé à la douzième dynastie Kahun par Petrie.⁸⁸ Ces outils, aujourd'hui exposés au Manchester Museum (Figure 2.44), se composent d'une pierre angulaire (MM 63), d'un bloc de bois (MM 64), d'un arc (MM 65) et d'un exercice d'incendie (MM 66). Le bloc a été préparé pour faire du feu par le forage de plusieurs trous profonds, probablement faits avec une perceuse à bois. Ces trous étaient percés ou entaillés sur les bords du bloc afin de permettre à la poudre de bois fumante de tomber sur l'amadou. Il est probable que la corde d'origine de l'arc mesurait

2 mm de diamètre; un exemple de cette corde de diamètre a été trouvé à Deir el Bahri (BM 43226).

L'exercice d'incendie Kahun mesure 40 cm de long, se rétrécissant progressivement à partir d'une taille centrale étroite, de 16 mm de diamètre, vers les extrémités en forme de bulbe de 18 mm de diamètre. En cours d'utilisation, l'extrémité supérieure tournait dans une pierre angulaire, l'extrémité inférieure tournant dans un trou inutilisé percé dans le bloc. En effet, la perceuse tournait sur deux paliers. Le roulement à pierre lubrifié permettait à l'opérateur d'appliquer une pression sur la perceuse, tout en la faisant tourner vigoureusement avec l'arc. Les expériences avec la réplique de l'équipement Kahun (Figure 2.45)⁸⁹ ont démontré que les anciens exercices d'incendie étaient probablement fabriqués à partir d'un bois dur, alors que les blocs devaient être fabriqués à partir d'un bois tendre. La fabrication d'une perceuse à incendie spécialement sculptée prenait beaucoup de temps, et les expériences ont révélé qu'une perceuse en bois dur portait

lentement pendant l'utilisation. À l'inverse, le bois plus tendre du bloc est transformé en une quantité relativement importante de poudre de charbon de bois.

Des matériaux pour faire du feu ont été découverts par Howard Carter dans la tombe de Toutankhamon de la XVIIIe dynastie à Thèbes.⁹⁰ Cet équipement consistait en une perceuse en bois cintrée. L'extrémité inférieure était plate et percée vers le haut avec

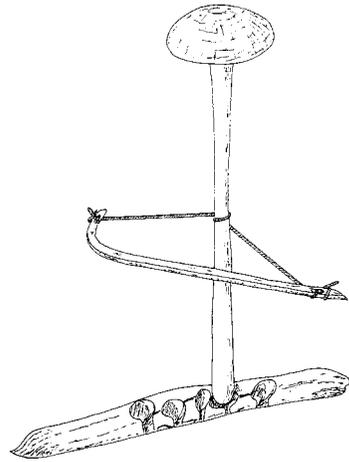


Illustration 2.44 Matériel de fabrication de feu de la XIIe dynastie (à partir de MM 63-6). (Avec l'aimable autorisation du Manchester Museum, l'Université de Manchester)

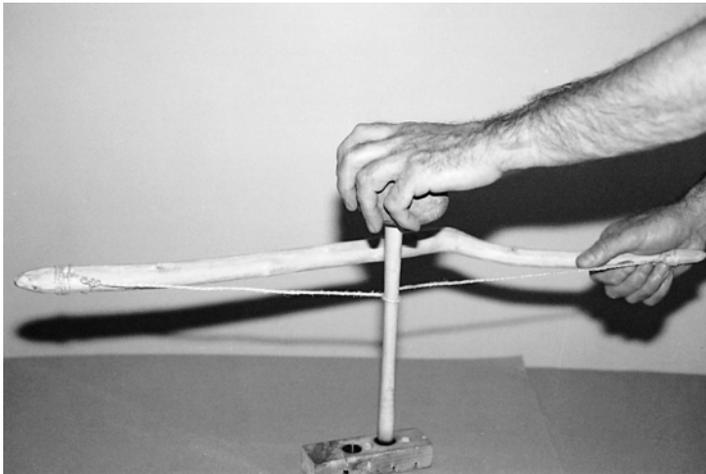


Illustration 2.45 Fabrication de feu expérimentale avec un exercice d'incendie reconstitué



Illustration 2.46e
Foret Kahun avec
son roulement en bois
bouchon (à partir de MM 23).
(Avec l'aimable autorisation de
Musée de Manchester,
L'Université de
Manchester)

un trou placé au centre. Le stock a été trouvé avec un petit exercice d'incendie monté de force dans ce trou. On a également découvert dans la tombe un bloc possédant douze trous, certains ayant servi à faire du feu. Flinders Petrie a découvert un matériel de forage similaire à la douzième dynastie Kahun,⁹¹ et un à la dix-huitième dynastie Gurob.⁹² L'extrémité supérieure de la tige de forage Kahun était sculptée dans une cheville centrale, sur laquelle était monté un chapeau de palier en bois; la disposition permettait au stock de tourner librement lorsqu'il était tourné avec un arc, tandis que le capuchon était maintenu stable (figure 2.46). Ce stock a également un petit trou vertical percé dans son corps, en partant du centre de l'extrémité plate inférieure; son but était de contenir des perceuses à bois en cuivre et en bronze, ainsi que de petits exercices d'incendie et, éventuellement, des perceuses à silex. Ces outils pouvaient être libérés en les poussant hors du trou vertical avec un bâton fin enfoncé dans un trou incliné, qui reliait la circonférence de la tige de forage à l'extrémité aveugle du trou vertical.

Le stock a des faces plates sculptées autour de sa circonférence effilée, et celles-ci s'étendent sur toute la longueur de l'outil. Le foret de Toutankhamon avait également été sculpté de la même manière. Le stock Gurob est similaire à tous égards aux forets Kahun et Thebain, mais n'avait pas été sculpté avec des faces plates. Petrie a également localisé un court exercice d'incendie de la dix-huitième dynastie à Kahun,⁹³ qui a été trouvé associé à un scarabée appartenant à Amenhotep III, et il est probable que la perceuse était utilisée avec une perceuse; son extrémité supérieure pointue le rendait impropre à un chapeau de palier.

Les expériences avec la réplique de l'exercice d'incendie Kahun ont démontré que des coups de poussée et de traction de 20 cm de long de l'arc, délivrés à la fréquence élevée de 180 coups/minute, provoquaient une augmentation rapide de la production de chaleur, induite par des forces de frottement élevées au point de contact entre la perceuse et le bloc de bois. Cette longueur et cette fréquence de coup ont été obtenues avec une réplique d'arc de longueur similaire à l'arc Kahun. Les calculs impliquant le diamètre de l'exercice d'incendie au point où la corde de l'arc fonctionnait, ainsi que la longueur et la fréquence de course suggérées, indiquent que l'ancien exercice tournait à environ 700 tours/minute. Une charge de 2 kg a été appliquée sur la réplique du foret; la corde a glissé autour de la perceuse à une charge plus élevée. De grands volumes de fumée accompagnaient la production de poudre de bois carbonisé, après un « rodage » initial de la perceuse pendant environ trois secondes; la poudre chaude a facilement enflammé une boule d'amadou. La raison de la conception conique des anciens exercices d'incendie et des forets devient évidente lors de leur utilisation. Au fur et à mesure que la corde de l'arc s'étire, en raison du mouvement vigoureux de l'arc, elle relâche son emprise sur le manche. Cependant, en permettant à la corde de l'arc de s'engager sur une plus grande

diamètre du foret, vers le haut ou vers le bas et, par conséquent, sur une plus grande circonférence, il se resserre automatiquement au fur et à mesure du forage.

Après une période d'environ 10 secondes, et cette durée variait avec la vitesse de rotation du foret et la pression qui lui était appliquée, la production de chaleur diminuait rapidement, et cela était dû à la formation d'une surface dure, lisse et carbonisée à la fois sur le feu foret (Figure 2.47) et le trou dans le bloc. Le carbone a de bonnes qualités lubrifiantes, et il est clair que les blocs ont été percés de plusieurs trous pour permettre d'utiliser un nouveau trou à chaque fois que l'équipement était requis. La couche de carbone de la perceuse devait être retirée avant le début de la prochaine opération de fabrication de feu.

L'exercice d'incendie Kahun de la douzième dynastie a été remplacé par l'emploi d'un exercice court engagé dans un foret. Le matériel de forage n'a guère subi de dommages en cours d'utilisation et l'exercice d'incendie était facile à remplacer après être devenu trop court pour une utilisation ultérieure. La présence de faces plates autour de la circonférence de la crosse s'est avérée augmenter l'adhérence de la corde, et on pense que cette modification a servi cet objectif pratique, plutôt que d'être purement décorative.

Le changement technologique d'un foret à partir d'un exercice d'incendie à rotation directe a établi la pratique selon laquelle l'échange de pièces qui s'usaient pendant la fabrication du feu était nécessaire pour conserver l'outil principal dans lequel une quantité considérable de temps et d'énergie avait été investie. Cependant, l'idée de la tige de forage en tant que partie permanente d'un système d'outils interchangeables n'était pas nouvelle dans l'Égypte ancienne. L'outil de forage et d'alésage des vaisseaux de pierre avait déjà revendiqué cette distinction.



Illustration 2.47 La fin carbonisée de l'exercice d'incendie expérimental



Illustration 2.48 Le four de l'auteur pour fondre le cuivre et le bronze

Outils de coupe en cuivre et en bronze : fabrication expérimentale et essais de dureté⁹⁴

Le four du projet pour la coulée des cuivres et des bronzes dans des moules en sable ouverts a été construit à partir de tôles rivetées ensemble pour former une hotte, un conduit de fumée et une base, qui contenait un revêtement de briques réfractaires (Figure 2.48). Ce revêtement formait un espace pour le combustible égal en volume à la capacité moyenne des anciens fours examinés par Rothenberg à Timna dans le désert du Néguev. Une fois entièrement rempli de combustible, un four en forme de bol mesurant 30 cm de hauteur et 25 cm de diamètre a été créé. Un ventilateur électrique fournissait de l'air à travers un tuyau en acier relié à la fournaise. Le débit d'air peut être réglé d'un minimum de 200 l/minute à un maximum de 600 l/minute (Figure 2.49). Le débit maximum permettait au four d'atteindre une température de fonctionnement d'environ 1 500°C, le débit minimum produisant une température quelque peu supérieure à 1 200°C.

Les outils tranchants expérimentaux en cuivre et en bronze ont été coulés dans des moules en sable ouverts (voir figures 2.16, 2.17). Les outils comprenaient des lames de scie, des ciseaux, des lames d'herminette, une lame de hache, des poinçons expérimentaux, une perceuse à bois, des perceuses à billes, des perceuses tubulaires et un coin. Certains des moules en sable ont été créés en imprimant les formes requises dans du sable humide avec des motifs en bois, d'autres avec des pierres angulaires. En fonction de l'outil, un creuset était chargé de ses métaux constitutifs après les avoir pesés avec des balances électroniques. Les outils désignés comme «cuivre» contenaient également de petites quantités variables d'étain et de fer. Les outils en cuivre antiques variaient considérablement dans leur teneur en pourcentage, et des analyses récentes du cuivre Kahun



Illustration 2.49 Le four en fonctionnement

outils par GR Gilmore⁹⁵ ont montré que les proportions de cuivre, d'étain, de fer, d'arsenic et d'antimoine différaient significativement d'un outil à l'autre.

Les outils de test désignés comme bronze étaient fabriqués à partir de cuivre et d'étain produits dans le commerce. Onze ciseaux ont été coulés en bronze, huit d'entre eux contenant des quantités d'étain régulièrement croissantes, commençant par une teneur en étain de 1% à 15% d'étain, par augmentations de 2%;⁹⁶ trois autres ciseaux en bronze contenaient respectivement 8 %, 10 % et 12 % d'étain. (Deux ciseaux en bronze du Nouvel Empire ont été analysés par J. Sebelian et MA Colson⁹⁷ et trouvé pour contenir une teneur en étain de 12 % et 13,3 % respectivement.) Quatre ciseaux en bronze au plomb ont été coulés, chacun contenant des quantités importantes d'étain et de plomb, ainsi que de petites quantités de fer et d'antimoine, mais dans les temps anciens, on pense que le bronze au plomb avoir été exclusivement utilisé pour les bols, vases, plats, bagues et autres objets domestiques.⁹⁸ En tout, 25 ciseaux pour le travail de la pierre et un pour le travail du bois ont été fabriqués pour essai. Les tableaux 2.1, 2.2 et 2.3 donnent des données sur le moulage et la fabrication

Tableau 2.1 Burins coulés en cuivre et bronze

Test non.	Métal taper	Ciseau conique	Teneur en pourcentage					Jeter poids (g)
			Cu	Sn	Fe	Pb	Sb	
1	le cuivre	appartement	98	[2]				70
2	le cuivre	appartement	96	[4]				73
3	le cuivre	appartement	96	[4]				60
4	le cuivre	tronçonnage	96	[4]				60
6	le cuivre	appartement	96	[4]				70
9	bronze	tronçonnage	97	3				45
dix	bronze	tronçonnage	95	5				55
11	bronze	appartement	93	7				73
12	bronze	tronçonnage	91	9				72
13	bronze	appartement	89	11				72
14	bronze	appartement	87	13				74
15	bronze	appartement	85	15				62
18	bronze	appartement	92	8				196
19	bronze	appartement	91	9				73
21	bronze	appartement	[inconnu]					196
22	bronze	appartement	88	12				196
25	bronze	appartement	90	dix				375
26	le cuivre	appartement	98	0,6	0,5	0,7	0,2	180
27	* l/bronze	appartement	91	4,4	0,5	3,4	0,7	197
28	l/bronze	appartement	90	5,0	0,5	3,7	0,8	192
29	l/bronze	appartement	89	5,6	0,5	4,0	0,8	180
30	l/bronze	appartement	88	6,1	0,5	4,5	0,9	188
33	bronze	appartement	90	dix				970
34	bronze	tronçonnage	99	1				dix
35	bronze	appartement	99	1				8
45	bronze	appartement	93	7				16

* l/bronze = bronze au plomb

Cu = cuivre, Sn = étain, Fe = fer, Pb = plomb, Sb = antimoine

Tableau 2.2 Tubes coulés, forets, scies, herminettes, haches, pointes, coins, forets à bois et poinçons cuivre et bronze

Test non.	Métal taper	Outil taper	Teneur en pourcentage Cu Sn Fe Pb	qn	Jeter poids (g)
17	bronze	* ct/tube	90 dix		169
23	bronze	tube	90 dix		179
31	* l/bronze	tube	90 5,0 0,5 3,7 0,7		182
36	le cuivre	tube	[commercialement pur]		830
37	bronze	tube	90 10		90
38	le cuivre	tube	[commercialement pur]		110
39	le cuivre	tube	[commercialement pur]		175
40	bronze	* Tb/perceuse	95 5		23
41	bronze	Tb/perceuse	95 5		26
42	bronze	Tb/perceuse	95 5		26
43	bronze	* Ko/exercice	90 dix		11
44	bronze	Ko/exercice	98 2		dix
5	le cuivre	* s/scie	96 [4]		45
48	le cuivre	s/scie	[commercialement pur]		360
24	bronze	* fe/scie	90 dix		158
32	l/bronze	fe/scie	90 5,0 0,5 3,8 0,7		178
47	le cuivre	fe/scie	[commercialement pur]		495
49	le cuivre	herminette	[commercialement pur]		95
50	le cuivre	herminette	[commercialement pur]		148
51	bronze	hache	96 4		29
46	bronze	indiquer	93 7		12
62	bronze	coin	99 1		73
63	bronze	perceuse à bois	96 4		12
52	bronze	coup de poing	98 2		4
53	bronze	coup de poing	90 dix		4

* ts/tube = test tube strié

* l/bronze = bronze au plomb

* Tb/drill = perceuse à billes thébaine

* Kb/foret = foret à billes Kerma

* s/saw = scie dentelée

* fe/saw = scie à lame plate

Cu = cuivre, Sn = étain, Fe = fer, Pb = plomb, Sb = antimoine

des ciseaux en cuivre et en bronze, des scies plates et dentelées, des herminettes, des poinçons expérimentaux, des forets tubulaires et perlés, des poinçons, des aiguilles, une hache, une pointe, un coin, un foret à bois et une épingle.

Dans les temps anciens, comme aujourd'hui, le processus de fusion du métal et de le couler dans des moules était une occupation sale et dangereuse, considérablement accrue par l'utilisation simultanée de plusieurs fours à proximité les uns des autres. Pour les anciens travailleurs de la fournaise, la vie aurait constamment été pleine de dangers omniprésents dus aux déversements de métal en fusion sur leurs jambes et leurs pieds, à la poussière et aux fumées, et à la possibilité d'une explosion si de l'eau se frayait un chemin dans un creuset ou un moule, plein de métal en fusion.

Tableau 2.3 Artefacts fabriqués à partir de cuivre produit commercialement

Testez non.	Type d'outil	Longueur (mm)	Diamètre (mm)	mur épaisseur	Poids (g)
64	aiguille	87	2	-	-
65	aiguille	85	2	-	-
66	aiguille	65	1.5	-	-
67	épingler	71	2	-	-
68	poinçon	172	2.5	-	-
69	poinçon	130	2	-	-
70	* s/scie	210	-	-	22
71	s/scie	200	-	-	30
72	* t/perceuse	55	dix	0,6	-
73	t/perceuse	76	15	0,8	-
74	t/perceuse	82	22	0,8	-
75	t/perceuse	80	29	0,8	-
76	t/perceuse	63	33	1.0	-
77	t/perceuse	112	40	1.25	-
78	t/perceuse	294	80	1.2	-

* s/saw = scie dentelée

* t/foret = foret tubulaire

Tous les ciseaux d'essai ont été moulés en barres rectangulaires, permettant à leurs effiles et bords d'être martelés à froid en forme. Une déformation et une dureté maximales d'un moulage peuvent être obtenues avec cette méthode. Aucun recuit n'a interrompu ce processus, bien que dans les temps anciens, certains recuits aient été utilisés pour certaines pièces moulées, et cela est confirmé par deux batteurs de métal dans une illustration de la tombe mastaba de Wepemnofret de la cinquième dynastie à Gizeh, qui font ces déclarations sur le cuivre sur leur enclume. Le premier ouvrier à droite dit : *ps nn jew wgr* (Chauffez ceci : il est sec). De toute évidence, cela signifie que le cuivre est devenu écroui et doit être recuit. L'autre travailleur dit : *n pascd ps.t(w).f mnh* (Il n'y a pas de fissuration [?] s'il est parfaitement chauffé).⁹⁹ Cependant, des études métallurgiques ont révélé que les outils anciens étaient parfois fortement travaillés à froid sans aucun recuit.¹⁰⁰ Les cônes des outils d'essai ont été façonnés en battant le métal avec des marteaux en pierre sphériques tenus à la main; la pierre la plus légère pesait environ 7 kg, le plus lourd environ 1 kg (Figure 2.50). Les tranchants des outils ont été obtenus en affûtant les extrémités des cônes sur des blocs de grès grossiers et lisses, ce qui peut suivre des pratiques anciennes. Chaque artefact a été fortement martelé au début, mais à mesure que la déformation du métal devenait plus difficile, des coups de marteau plus doux ont été appliqués. Tous les ciseaux en cuivre se sont déformés facilement et aucune fissuration n'est apparue. C'était une autre histoire en ce qui concerne les ciseaux en bronze. Les ciseaux à section mince jusqu'à 5 % d'étain inclus se sont relativement bien déformés sans aucun signe de fissuration. Cependant, la résistance à la déformation dans le burin contenant 7 % d'étain est devenue marquée, et dans les burins contenant 9 % et 11 % d'étain, un martelage considérable a été nécessaire pour déformer correctement le métal, mais



Figure 2.50 Marteler une coulée de bronze dans un ciseau

aucune fissuration ne s'est produite. Des fissures sont apparues dans l'étain à 12 %, 13 % et 15 % dans les burins en bronze. Ce dernier ciseau s'est fracturé en deux endroits.

Des tests de martelage ont été effectués sur certaines plaques de cuivre et de bronze, et il a été déterminé que la plaque de cuivre, contenant de petites quantités de métaux supplémentaires, se déformait facilement, mais que la plaque de bronze contenant plus de 5 % d'étain nécessitait une quantité importante de recuit pour éviter les fissures dommageables. Un essai de destruction a été effectué sur un échantillon de bronze à section épaisse contenant 10 pour cent d'étain. Des coups de marteau d'une force extrême ont rapidement provoqué sa fracture (figure 2.51) et la dureté la plus élevée, le numéro de pyramide Vickers (VPN) 256, a été enregistré pour cette coulée.

Il ressort des essais de dureté que les ciseaux en bronze contenant 8 % d'étain et plus peuvent être martelés à froid jusqu'à une dureté supérieure à celle de l'acier doux laminé à froid (voir tableau 2.4), tout comme les ciseaux en bronze au plomb contenant au moins environ 4,5 % d'étain et 3,5 % de plomb. Les bronzes au plomb n'ont peut-être jamais été utilisés pour la fabrication d'outils, mais les métallurgistes doivent avoir apprécié sa capacité à se déformer facilement sous forme de feuille avec peu de nécessité de recuit. Les ciseaux en bronze contenant 10 pour cent d'étain et plus étaient plus durs que l'acier de ciseau moderne non travaillé. Les ciseaux en cuivre contenant de petites proportions d'autres substances peuvent être martelés à froid à la dureté de l'acier doux laminé à froid, mais pas plus dur. Les tests sur les bronzes purs ont révélé que les outils composés à 90 % de cuivre et à 10 % d'étain constituent les meilleurs outils de coupe en ce qui concerne le double avantage de la ténacité et de la dureté. Cependant, d'anciens outils en bronze contenant plus de 10 % d'étain étaient utilisés, et le ciseau d'essai de



Illustration 2.51 Une coulée de bronze fracturée causée par un martelage extrême

Tableau 2.40 Du cuivre recuit et trempé au marteau, du bronze, du bronze au plomb et de l'acier burins - Test de dureté Vickers Pyramid

Testez non.	Type de métal	Recuit dureté non.	martelé dureté non.	Teneur en pourcentage				qn
				Cu	Sn	Fe	Pb	
26	le cuivre	57	140	98	0,6	0,5	0,7	0,2
9	bronze	75	161	97	3			
dix	bronze	94	180	95	5			
11	bronze	99	188	93	7			
12	bronze	101	219	91	9			
25	bronze	-	239	90	dix			
20	+ bronze	-	256	90	dix			
22	bronze	-	247	88	12			
28	* l/bronze	-	195	90	5,0	0,5	3,7	0,8
30	l/bronze	-	200	88	6,1	0,5	4,5	0,9
-	acier doux	131	192					
-	ciseau en acier	235	800					

+ martelé jusqu'à la destruction

* l/bronze = bronze au plomb

Cu = cuivre, Sn = étain, Fe = fer, Pb = plomb, Sb = antimoine

Une teneur en étain de 12 % en faisait un bon outil. Un recuit lors de sa mise en forme aurait créé un outil parfait dépourvu de fissures, et le résultat de dureté conforte le choix de l'ancien artisan d'un bronze à haute teneur en étain. Les tests indiquent également qu'un ancien artisan expérimenté aurait pu facilement détecter un métal atteignant sa limite de déformation.

Les tests de dureté sur les pièces moulées en cuivre et en bronze se répartissaient en plusieurs groupes définis. Les grands et petits ciseaux en cuivre et en bronze, les ciseaux en bronze au plomb, une scie et une coulée d'essai en bronze ont été martelés et testés en dureté, tandis que les herminettes, la lame de hache, les poinçons expérimentaux, les perceuses à une perle (Kermatype),¹⁰¹ le foret à bois et le coin ont été martelés, mais pas testés en dureté. Les forets tubulaires, les forets à billes multiples simultanés (type Thébain)¹⁰² et les scies à tailler les pierres à tranchant plat n'étaient pas du tout martelées.

L'essai de dureté a été effectué avec une machine d'essai Vickers Pyramid Hardness. La dureté est déterminée par l'utilisation d'un pénétrateur en diamant, sous une charge connue pendant un temps connu, qui laisse une empreinte (figures 2.52, 2.53) dont la surface, lorsqu'elle est divisée par la charge, donne un quotient connu sous le nom de nombre pyramidal de Vickers. L'indice de dureté permettait d'établir une relation entre les différents outils, qui pouvait ensuite être comparée aux caractéristiques des outils lors de l'exécution de travaux sur le bois et la pierre. Les caractéristiques des outils de coupe ont été surtout analysées du point de vue d'un artisan plutôt que d'un point de vue purement métallurgique ; en l'absence de connaissance des performances d'un outil en alliage de cuivre sur les matériaux, la connaissance de sa teneur exacte en métal et de son indice de dureté serait de peu de valeur. Après essai de dureté, les outils nécessitant des manches étaient équipés de ceux fabriqués à partir de hêtre séché - un bois dur. Des couteaux, des ciseaux et des grattoirs en silex étaient utilisés pour enlever l'écorce du bois et le tailler en forme.

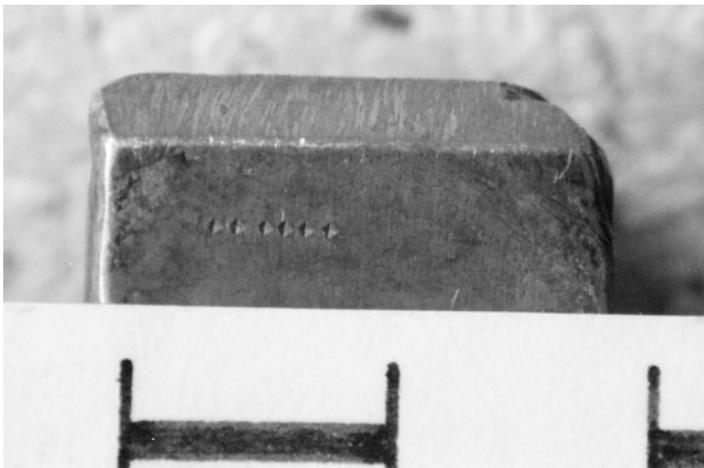


Illustration 2.52 Marques d'essai de dureté sur le cône d'un ciseau en bronze



Illustration 2.53 Marques de test de dureté sur le cône d'un ciseau en cuivre

Couper ou ne pas couper, tel est le problème

Les épreuves de taille de pierre¹⁰³ ont été exécutés avec des ciseaux en cuivre, en bronze au plomb et en bronze et des ciseaux plats coniques, un ciseau moderne en acier conique plat et un poinçon en acier, des lames d'herminette en cuivre et des lames de scie en cuivre dentelées. Les pierres utilisées pour le test comprenaient deux types sédimentaires (grès rouge et calcaire tendre), un grès dur à grain fin, ainsi que du calcaire dur, de la calcite, du granit rose et de la diorite. Le grès rouge a été sculpté à Abou Simbel pour les temples de Ramsès II et de sa principale épouse Néfertari, tandis que le calcaire tendre a été façonné en blocs pour les pyramides de Gizeh et d'autres bâtiments. Tous les ciseaux d'essai ont été enfoncés avec un maillet en bois. Un maillet léger, en hêtre, reproduisait un maillet de Kahun ;¹⁰⁴

un maillet en acajou plus lourd entraînait les gros ciseaux. Le maillet en bois n'a pas toujours été utilisé pour enfoncer les ciseaux. Dans la tombe de Rekhmire,¹⁰⁵ un artisan est représenté en train de graver un vase d'or ou d'argent avec un ciseau de bronze actionné par un petit marteau de pierre. Les ciseaux à bois, munis de manches, étaient probablement toujours entraînés avec des maillets.

Plusieurs ciseaux en cuivre, bronze et bronze au plomb ont été testés sur du granit rose et de la diorite. Chaque ciseau a subi de graves dommages à son tranchant. Les dommages infligés aux anciens ciseaux de fer en les utilisant pour couper des pierres ignées ont été pris en compte. Pour tester cette proposition, un ciseau d'ingénieur en acier trempé et revenu (VPN 800), ainsi qu'un poinçon en acier trempé (VPN 800), ont été utilisés pour découper une rainure de 0,5 mm de profondeur dans une surface lissée sur un bloc de diorite. Les outils ont subi de graves dommages, similaires aux ciseaux non ferreux. Cependant, le coup de poing

était capable d'ébrécher de petits morceaux dépassant de la surface rugueuse de cette pierre ignée (voir chapitre 3).

Aucun travailleur ne tolérerait un tel état de choses, où un outil précieux subit de graves dommages sans retour proportionnel dans la performance au travail. Quoi qu'il en soit, les maçons de l'Égypte ancienne avaient facilement accès à des approvisionnements bon marché et abondants en un matériau adapté au travail des pierres dures, à savoir le silex.

Les tests de coupe sur le grès dur à grain fin, le calcaire dur et la calcite ont démontré que les ciseaux de cuivre souffraient d'un émoussage immédiat et de bosses irrégulières sur leurs bords, et peuvent être considérés comme des outils de coupe pour ces pierres. Les ciseaux en bronze au plomb étaient inefficaces sur le grès dur et le calcaire dur, mais étaient capables de couper la calcite. Cependant, un affûtage fréquent était coûteux en métal perdu. Seuls les ciseaux en bronze dépassant un VPN de 229 coupent bien la calcite, mais nécessitaient un affûtage à des intervalles non compatibles avec l'utilisation efficace des outils. Par conséquent, même les ciseaux de bronze anciens les plus durs ont dû perdre du métal à un rythme qui n'aurait pas pu être acceptable pour les anciens ouvriers. Tous les ciseaux coupent facilement le grès rouge et le calcaire tendre, bien que les ciseaux plus tendres aient subi une légère usure au fil du temps. Des essais au ciseau d'acier sur du grès dur à grain fin ont indiqué que ce type de pierre, extrait à Gebel Silsila pour la fabrication de blocs, notamment pour les temples gréco-romains de Philae, Kom Ombo, Edfou, Esna et Dendérah, aurait pu être taillé avec des pierres anciennes. ciseaux de fer. Afin de tester des procédures de travail réalistes, un bas-relief de



Illustration 2.54 Un bas-relief de la *uas*-sceptre et du *ankh* symbole gravé dans le doux calcaire à l'aide d'un ciseau en cuivre

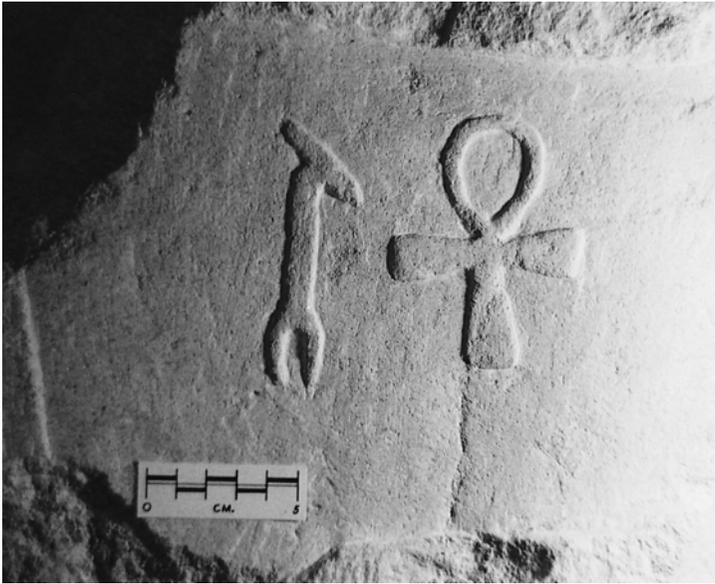


Figure 2.55 Le bas-relief fini en calcaire

la *uas*-sceptre et l'un des *ankh* symbole ont été sculptés dans un calcaire tendre (Figures 2.54, 2.55), semblable à celui utilisé pour faire face à la Grande Pyramide, avec des ciseaux en cuivre et en bronze. Le bas-relief signifie que les figures et les hiéroglyphes ont été sculptés de manière à se détacher de l'arrière-plan. Le relief incisé ou creux (en-Creux) impliquait la découpe de figures et de hiéroglyphes dans la surface d'une pierre. Les reliefs incisés étaient souvent découpés dans les murs extérieurs, où le soleil oblique du matin et du soir illuminait les sculptures; le bas-relief était populaire pour la décoration intérieure des tombes, mais ce type de sculpture réaliste prenait plus de temps à réaliser. Les ciseaux expérimentaux en cuivre et en bronze ont été utilisés comme grattoirs, en plus de ceux en silex, pour exécuter des angles vifs, et l'utilisation combinée d'outils en métal et en silex aurait été courante dans les temps anciens. Le bas-relief d'essai a été lissé avec des caoutchoucs de grès grossiers et lisses. Les tests ont révélé que les seules autres pierres indigènes à l'Égypte que les ciseaux métalliques étaient effectivement capables de couper étaient le gypse et la stéatite. Toutes les autres pierres ont causé divers degrés de dommages inacceptables et une perte de métal aux ciseaux en cuivre et en bronze.

Les répliques d'herminettes ont été utilisées pour façonner un vase en calcaire tendre, qui a ensuite été utilisé pour tester les méthodes de forage et d'alésage de l'Égypte ancienne. L'herminette est un excellent outil pour faire des coups d'œil sur le calcaire, et cette capacité de taille de pierre douce complète les rôles anciens de coupe de bois des herminettes dans la construction navale et d'autres travaux. Petrie a fait une observation utile à propos des marques laissées par les outils métalliques et de taille du silex. Il remarqua que l'herminette était utilisée dans la chambre de Kho-sekhemui (Seconde Dynastie), mais que la lame était en silex, ce que révélaient les éclats sur le bord de l'outil laissant des arêtes surélevées sur la pierre, alors qu'un métal

L'outil a des bosses dentelées sur le bord qui laissent des marques de rayures sur le parement de pierre.¹⁰⁶ Les essais sur calcaire avec des outils en cuivre, bronze et silex corroborent pleinement ces observations.

Un examen attentif des scies anciennes a révélé que beaucoup étaient fournies avec des dentelures qui avaient été entaillées au hasard dans leurs bords; les dentelures d'une scie étaient normalement placées vers la poignée, et cette preuve a conduit à l'hypothèse que ce type de scie était une scie à tirer.¹⁰⁷ Les lames de scie modernes, à une ou deux exceptions près, comme la scie à chantourner, sont fabriquées avec des dentelures éloignées du manche (une scie à pousser). Il est probable qu'un simple outil en silex ait été utilisé pour entailler une lame de scie. L'encochage expérimental de répliques de scies trempées au marteau a été réalisé de la manière suivante. Un nodule de silex était cassé, de sorte qu'une longue arête vive pouvait être pointée vers le haut. La main gauche en coupe soutenait l'outil sous la surface extérieure lisse du nodule, ou cortex, avec le bord de l'outil parallèle au corps. Dans cette position, le tranchant de la lame était abaissé de force sur le tranchant de l'outil en silex. Ce mouvement de piratage ou de hachage, qui commençait à l'extrémité de la poignée, se poursuivait sans pause tout en déplaçant régulièrement la lame vers l'opérateur. Les positions naturellement maintenues de chaque bras pendant les mouvements de hachage garantissaient automatiquement que les dentelures se dirigeaient vers la poignée. De plus, cette action de hachage a fait gonfler le cuivre sur le côté à chaque dentelure, donnant ainsi à l'outil la capacité de couper le trait de scie, ou la fente, plus large que l'épaisseur de la lame. Cela empêche une scie de se coincer dans la fente.

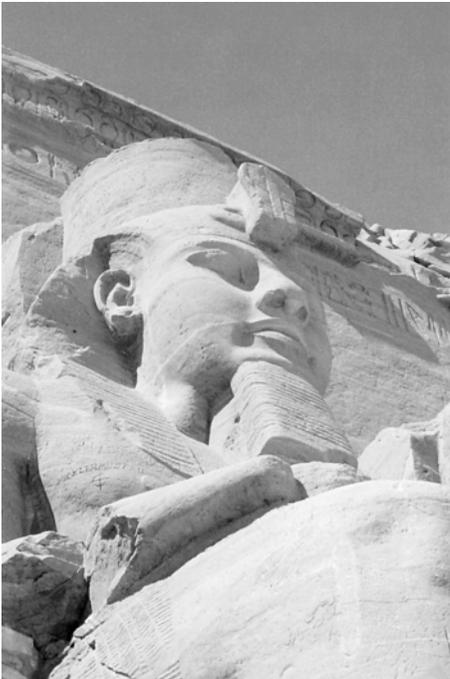


Illustration 2.56 Le visage de Ramsès II au temple d'Abou Simbel, Haute Egypte

Les répliques de scies minces se sont avérées efficaces lorsqu'elles ont été testées sur du grès rouge et du calcaire tendre, et on sait que d'anciens scieurs ont découvert cette utilisation pour les scies à cuivre dentelées.¹⁰⁸ Les scies à tailler les pierres à tranchant plat peuvent couper à la fois la pierre tendre et la pierre dure, mais les scies dentelées ne peuvent couper que le grès rouge, le calcaire tendre, le gypse et la stéatite; le taux de coupe est remarquablement rapide. Dans ce contexte, des scies dentelées ont été employées par les ingénieurs modernes sur les visages des statues en grès rouge de Ramsès II à Abou Simbel (Figure 2.56), qui ont été scieées en morceaux lors du déplacement du monument vers un site plus élevé hors de portée de la montée

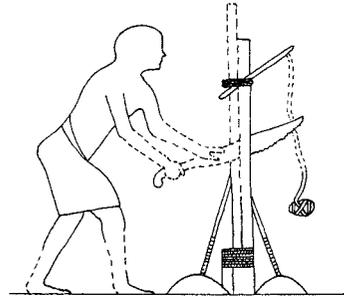


Illustration 2.57 Un levier de garrot à contrepoids illustré dans une tombe à Deshasheh. (Avec l'aimable autorisation de l'Egypt Exploration Society)

Lac Nasser, créé par la construction du haut barrage d'Assouan dans les années 1960.¹⁰⁹ Les ingénieurs ont découvert que la pierre était peu endommagée, les pièces étant assemblées à nouveau avec un minimum de réparations aux joints.

Une technologie intéressante utilisée avec des scies à cuivre dentelées est représentée dans plusieurs tombes, notamment dans les tombes de Meir et Deshasheh (Figure 2.57) ;¹¹⁰ la reconstruction et les tests de l'appareil ont indiqué que la scie égyptienne n'était ni une scie à tirer ni une scie à pousser, mais une combinaison des deux actions. L'équipement consistait en un poteau vertical, enfoui dans le sol, auquel une pièce de bois verticale était attachée avec une corde. Une courte tige de bois était insérée dans cette saisine, avec un contrepoids en pierre suspendu par une corde à son extrémité libre (Figure 2.58). Des scieurs debout sont représentés tenant leurs scies à deux mains et les lames sont soit horizontales, soit avec leurs pointes pointant vers le haut. Il est probable qu'un coin ait été utilisé pour maintenir un trait de scie ouvert au fur et à mesure qu'il s'approfondissait. Des expériences avec une tige reconstruite, un poids, une corde et un coin en cuivre coulé ont démontré qu'en faisant glisser le poids le long de la tige, l'équipement pouvait être conçu pour ajuster la tension sur la corde attachée autour du poteau et du bois. De cette façon, l'arrimage pouvait être conçu pour agir comme un mécanisme de dégagement rapide, lorsque le bois devait glisser sur le poteau pendant que le sciage se poursuivait; les deux mains étaient donc libres de tenir le manche de la scie (figure 2.59). Dans une scène cependant,¹¹¹ le bois est fouetté à un angle de 45° par rapport au sol (Figure 2.60), et une scène dans la tombe de Rekhmire¹¹² montre deux ouvriers assis tenant d'une main de petits morceaux de bois, placés à des angles de 55° et 65° respectivement par rapport au sol, la scie coupant dans le plan horizontal (figure 2.61) ; cela a facilité le processus de sciage d'une certaine manière. Pourquoi?

De nombreuses scies anciennes étaient fournies avec des manches en bois courbés,¹¹³ et ceux-ci étaient utiles pour pousser aussi bien que pour tirer une scie. Les tests de sciage sur le bois ont clairement démontré que les dentelures d'une lame, orientées vers le travailleur, ne nécessitaient aucune force particulière de traction ou de poussée pour couper le bois efficacement. En fait, un coup de traction délibéré est assez fatigant à effectuer. Certains artisans modernes pourraient admettre une scie à pousser, possédant des dentelures éloignées de



Illustration 2.58 Le levier de garrot à contreponds reconstruit



Illustration 2.59 Utiliser une scie à deux mains pendant que le bois reste solidement attaché à un poteau enfoui dans le sol

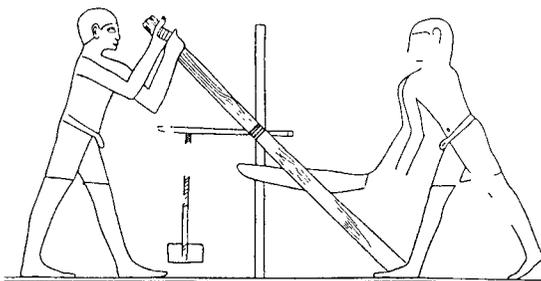


Illustration 2.60 Le levier de garrot à contreponds tenant une planche fouettée à 45° par rapport à la verticale. De la tombe de Pepionkh à Meir. (Avec l'aimable autorisation de l'Egypt Exploration Society)

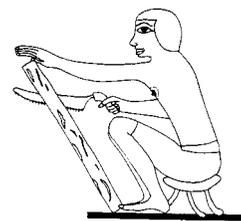


Illustration 2.61 Un artisan sciant un morceau de bois incliné loin de lui. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Ré à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LIII. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

le scieur, étant autorisé à couper en arrière ou en tirant. À l'inverse, une réplique de scie en cuivre, possédant des dentelures coupées vers l'opérateur, coupe assez bien sur le coup vers l'avant ou en poussant.

Les représentations funéraires représentant des scies avec leurs pointes pointant vers le haut ne prouvent pas qu'il s'agissait de scies à tirer. Aujourd'hui, les artisans fixent le bois verticalement dans un étau et sont obligés d'incliner leurs scies à pousser vers le haut en raison de leur position debout et de la hauteur du bois au point de sciage. De plus, le premier geste de sciage, avec la scie ainsi inclinée, réduit la largeur du bois à scier, et donc diminue l'effort demandé au scieur. (Cette méthode a été utilisée pour scier le couvercle du fond du sarcophage en granit de la IV^e dynastie de Hordjedef - voir chapitre 6.) Après un court instant, la scie est déplacée en position horizontale et le bois scié jusqu'au niveau le plus bas atteint par la première opération. Le processus peut être répété encore et encore. Les scènes funéraires montrent probablement des scieurs dans des positions remarquées à cette époque par l'artiste. Par exemple, un scieur représenté avec les jambes largement écartées est dans la position classique pour assurer la stabilité du corps lors de l'utilisation d'un degré d'effort élevé. Tous les tests montrent que les scieurs anciens auraient adopté des positions et des techniques de sciage propres au travailleur et au type et aux dimensions du bois scié.

Le test de coupe de bois dur et tendre avec des ciseaux en cuivre et en bronze, des scies, des herminettes, une hache et une perceuse à bois à arc, indique que les anciens outils en cuivre et en bronze possédaient une dureté si supérieure à tous les bois que seul un affûtage peu fréquent était nécessaire. Les répliques de perceuses à bois à arc, lorsqu'elles tournaient rapidement, atteignaient toutes deux des taux de coupe dans le bois tendre de 66 cm³/heure, alors que les trous dans le bois dur, comme le chêne et l'acajou, étaient percés à des vitesses de 20 et 30 cm³/heure respectivement.

En conclusion, les essais ont prouvé qu'aucun outil en cuivre, bronze ou bronze au plomb, à l'exception des tubes et des scies plates à abrasif sable, ne pouvait couper efficacement la pierre autre que le grès rouge, le calcaire tendre, le gypse et la stéatite, et que tous les outils utilisés pour couper les bois de toutes duretés étaient pratiques à cet effet. Seules les pierres de dureté Mohs 3 et inférieures peuvent être efficacement coupées avec n'importe quel outil tranchant en cuivre, en bronze ou en bronze au plomb. Les tests avec le ciseau et le poinçon en acier modernes indiquent que les artisans de la période tardive n'utilisaient pas leurs ciseaux en fer plus doux pour couper des hiéroglyphes et des reliefs dans le granit, la diorite, le porphyre et d'autres pierres de dureté similaire.

Remarques

- 1 WMF Petrie, *Outils et Armes*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1917, p. 1.
- 2 B.Adams, *Égypte prédynastique*, Princes Risborough: Shire Publications, 1988, p. 40, fig. 21, b.
- 3 Idem. figure. 21, d ; couteau dentelé en silex BM 29288. Les
- 4 exemples sont Bristol Museum H1920 et BM 29285.
- 5 MA Hoffmann, *L'Égypte avant les pharaons : les fondements préhistoriques de l'Égypte Civilisation*, Londres et Henley : Routledge et Kegan Paul, 1980, fig. 49.

- 6 Pétrie, *Outils et Armes*, p. 5–8, pl. II, A57, 60–1, 64, 67–9, 76–9.
- 7 FCJ Spurrell, 'Les outils en pierre de Kahun', dans WMF Petrie, *Illahun, Kahun et Gurob*, Londres : David Nutt, 1891, p. 51–3 ; huit outils en silex ébréché de Kahun (MM 198) peuvent être des ciseaux, bien que les outils pointus du groupe puissent être des poinçons ; Pétrie, *Illahun*, PL. VII, 3 (hache en silex), pl. VII, 1 (herminette silex); WMF Petrie, *Kahun, Gurob et Hawara*, Londres : Kegan Paul, Trench, Trübner, and Co., 1890, pl. XVI (hache en silex, aujourd'hui MM 242), pl. XVI, en haut à gauche et à droite (herminettes en silex, aujourd'hui MM 245, 246), pl. XVI (deux couteaux en silex, aujourd'hui MM 239A, 240).
- 8 A. Tillmann, 'Dynastic stone tools', in KA Bard (éd.) *Encyclopédie de l'Égypte ancienne*, Londres et New York : Routledge, 1999, p. 265.
- 9 F.L. Griffin, *Beni Hassan III*, Londres : Egypt Exploration Fund, 1896, pp. 33–8, pls. VII, VIII, IX, X ; SR Snape et JA Tyldesley, 'Deux scènes égyptiennes de taille de silex', *Lithiques* 4, 1983, p. 46–7.
- 10 E. Mackay, « Le découpage et la préparation des chapelles funéraires dans la nécropole thébaine », *JEAVII*, 1921, p. 163–4.
- 11 Par exemple, les ciseaux de la Première Dynastie avaient un seul cône (Petrie, *Outils et Armes*, p. 19, pl. XXI, C1–3). Pour des exemples de ciseaux plats et à coupe transversale à double conicité, voir *ibid.*, pls. XXI, C19–20, 23, XXII, C49, 81.
- 12 Pétrie, *Kahun*, PL. XVII, 4 (aujourd'hui MM 204) ; Pétrie, *Outils et Armes*, PL. XXI, C23. 13 Pétrie, *Outils et Armes*, svp. II, A58, III, A112, LXXIII, A62. 14 *Idem*, p. 11, pl. IX, O20.
- 15 *Ibid.*, pl. V, A133. 16 *Ibid.*, pl. XVI, Z62.
- 17 Pétrie, *Illahun*, PL. XIII, 16 (aujourd'hui MM 194b) ; Pétrie, *Outils et Armes*, PL. XXIII, C73, 86. Voir aussi les ciseaux en bronze du Nouvel Empire munis de manches en bois (BM 6045, 6053).
- 18 Pétrie, *Outils et Armes*, p. 40, pl. XLVI, M62. Pour d'autres exemples de usure circonférentielle des maillets en bois voir *ibid.*, pl. XLIV, M64–5, 70 ; MM 55. 19 Pétrie, *Kahun*, PL. XVII, 5 (aujourd'hui herminette à col MM 203) ; Pétrie, *Outils et Armes*, svp. XVI, Z60–5, XVII, Z76–93.
- 20 Mackay, « Le découpage et la préparation des chapelles funéraires dans la nécropole thébaine », pp. 163–4 ; WMF Petrie, *Architecture égyptienne*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1938, p. 30.
- 21 Mackay, « Le découpage et la préparation des chapelles funéraires dans la nécropole thébaine », p. 154–68.
- 22 Un exemple de travailleurs gauchers représentés peut être vu dans une représentation d'une pierre artisan de navire d'une tombe de la cinquième dynastie à Saqqarah (CM JE39866), et un ouvrier similaire est montré dans la tombe de la sixième dynastie de Mereruka à Saqqarah (P. Duell (éd.) *Le tombeau de Mereruka*, Chicago: The University of Chicago Oriental Institute, 1938, vol. Je, pl. 30).
- 23 Pétrie, *Outils et Armes*, p. 43. 24 *Ibid.*, pl. XLVIII, S2, L, S1. 25 *Ibid.*, pl. L, S3.
- 26 *Ibid.*, pl. XLVIII, S10, L, S11.
- 27 MZ Goneim, *La pyramide enterrée*, Londres : Longmans, Green and Co., 1956, p. 108 ; WMF Petrie, *Les pyramides et les temples de Gizeh*, Londres : Field et Tuer, 1883, pl. XIV, 1.
- 28 Pétrie, *Pyramides*, p. 174.
- 29 DA Stocks, 'Industrial technology at Kahun and Gurob: experimental manufacture and test of répliques et d'outils reconstruits avec des utilisations et des effets indiqués sur la production d'artefacts », thèse non publiée, Université de Manchester, 1988, vol. I, p. 83–99.

- 30 N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-R™ à Thèbes*, New York : métropolitain Musée d'art, 1943, vol. II, svp. LII, LIII.
- 31 Pétrie, *Pyramides*, p. 175, pl. XIV, 8 ; A. Lucas et JR Harris, *Égyptien antique Matériaux et industries*, Londres : Edward Arnold, 1962, p. 74 ; GA Reisner, *Mycerinus, les temples de la troisième pyramide de Gizeh*, Cambridge, MA : Harvard University Press, 1931, p. 180.
- 32 Davies, *Rekhmirê*, vol. II, svp. LII, LIII.
- 33 Idem. Une chaise est représentée au pl. LII, un lit en pl. LIII.
- 34 En particulier les joints de cerceuil en bois. Pour les cercueils et leur construction, voir AJ Spencer, *La mort dans l'Égypte ancienne*, Harmondsworth : Penguin Books, 1982, p. 166.
- 35 Pétrie, *Outils et Armes*, PL. LI, M15. La pointe était peut-être en forme de pointe de flèche, lorsqu'il est neuf.
- 36 Adams, *Égypte prédynastique*, p. 43.
- 37 Pétrie, *Outils et Armes*, p. 6.
- 38 Pétrie, *Kahun*, p. 29 ; Pétrie, *Outils et Armes*, PL. LXXVII, W249. 39 Pétrie, *Kahun*, p. 29 ; Pétrie, *Outils et Armes*, p. 61, pl. LXXVII, W250. 40 Stocks, 'Technologie industrielle', vol. Je, p. 57, vol. II, planche II, a.
- 41 Pétrie, *Pyramides*, p. 174.
- 42 Pétrie, *Outils et Armes*, p. 62, pl. LXXVII, W265. 43 Idem, p. 61, pl. LXXVII, W252-5.
- 44 Pétrie, *Outils et Armes*, p. 61 ; WMF Petrie, *Les arts et métiers de l'Égypte ancienne*, Edimbourg et Londres : TN Foulis, 1909, p. 101 ; Lucas et Harris, *EMI*, p. 222. 45 Par exemple, AM Blackman et MR Apted, *Les tombeaux rupestres de Meir*, Londres : Egypt Exploration Society, partie V, 1953, pl. XVI. 46 Davies, *Rekhmirê*, vol. II, pl. LII.
- 47 CT Currelly, 'Outils de pierre', dans *Catalogue Général des Antiquités Égyptiennes du Musée du Caire*, Le Caire : Imprimerie de l'Institut Français d'Archéologie Orientale, 1913, p. 237 ; RL Mond et OH Myers, *Les cimetières d'Armant*, Londres : Egypt Exploration Society, 1937, vol. Je, p. 167.
- 48 Par exemple, Duel, *Mereruka*, vol. Je, pl. 30.
- 49 A. Nibbi, « Quelques remarques sur le cuivre », *JARCÉXIV*, 1977, p. 59-66.
- 50 HH Coghlan, *Notes sur la métallurgie préhistorique du cuivre et du bronze dans l'Ancien Monde*, Oxford : Oxford University Press, 1951, fig. dix.
- 51 B. Rothenberg, 'Excavations at Timna Site 39. A chalcolithic copper smelting site et four et sa métallurgie », *Numéro de monographie archéo.métallurgie1*, 1978, p. 11, fig. 11.
- 52 RF Tylecote et PJ Boydell, 'Experiments on copper smelting based on early fours trouvés à Timna', *Numéro de monographie archéo.métallurgie1*, 1978, p. 27-51. 53 Idem.
- 54 Davies, *Rekhmirê*, vol. II, svp. LII, LIII.
- 55 Ibid., pl. LIII.
- 56 Blackman et Apted, *Les tombeaux rupestres de Meir*, PL. XVI.
- 57 G. Steindorff, *Das Grab des Ti*, Leipzig : Hinrichs, 1913, pl. 134 ; Duel, *Mereruka*, vol. Je, pl. 30 ; Blackman et Apted, *Les tombeaux rupestres de Meir*, PL. XVIIe ; Coghlan, *Métallurgie préhistorique*, figure. dix.
- 58 N. de G. Davies, *Les tombes rupestres de Deir el Gebrâwi*, Londres : Exploration de l'Égypte Fonds, 1902, vol. Je, pl. XIV.
- 59 Blackman et Apted, *Les tombeaux rupestres de Meir*, p. 25, pl. XVI, registre 4. L'un des trois ouvriers, chacun avec une sarbacane, disent : "Faites un gros effort, voilà que c'est en fusion (?)".
- 60 Davies, *Rekhmirê*, vol. II, pl. LII ; N. de G. Davies, *Le tombeau de Puyemrê à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1922, vol. Je, svp. XXIII, XXV ; N. de G.

- Davies, *Le tombeau des deux sculpteurs à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1925, pl. XI.
- 61 Davies, *Rekhmirê*, vol. II, pl. LII.
- 62 CJ Davey, « Creusets de la collection Petrie et idéogrammes hiéroglyphiques pour le métal », *JEAT71*, 1985, p. 142-8 ; Pétrie, *Outils et Armes*, p. 61, pl. LXXVII, W245-8. 63 Duel, *Mereruka*, vol. Je, pl. 30. 64 Davies, *Rekhmirê*, vol. II, pl. LII. 65 Idem.
- 66 Davey, « Creusets de la collection Petrie et idéogrammes hiéroglyphiques pour le métal », p. 148 ; Duel, *Mereruka*, vol. Je, pl. 30 ; S.Hassan, *Fouilles à Gizeh 1930-1931*, Le Caire : Government Press, 1936, pp. 192-3, fig. 219.
- 67 Davies, *Rekhmirê*, vol. II, pl. LII. Trois creusets sont représentés, tous de forme large. 68 F. Bisson de la Roque, 'Trésor de Tôd', in *Catalogue Général des Antiquités Égyptiennes du Musée du Caire*, Le Caire : Imprimerie de l'Institut Français d'Archéologie Orientale, 1950, pp. iii, 1-2, pl. JE.
- 69 M. Lehner, 'Cité perdue des pyramides', *L'Égypte révélée*, automne 2000, p. 42-57. 70 R. Maddin, T. Stech, JD Muhly et E. Brovarski, « Old Kingdom models from the tombeau d'Impy : études métallurgiques », *JEAT70*, 1984, p. 33-41 ; Stocks, 'Technologie industrielle', vol. I, p. 64-82.
- 71 Davies, *Rekhmirê*, vol. II, pl. LIII.
- 72 AT Rickard, *L'homme et les métaux*, New York : Arno Press, vol. I, 1932, p. 116.
- 73 Par exemple, Davies, *Rekhmirê*, vol. II, pl. LV, deuxième registre. 74 *Ibid.*, pl. LV, registre inférieur.
- 75 *Ibid.*, pl. LIII, registre du bas.
- 76 Stocks, 'Technologie industrielle', vol. II, p. 269-70.
- 77 Pour des exemples, voir Pétrie, *Outils et Armes*, PL. LXV, N70-4 ; MM 233W cuivre l'aiguille de Kahun a été analysée par GR Gilmore. L'aiguille contenait 95% de cuivre (GR Gilmore, 'The composition of the Kahun metals', in AR David (ed.) *Sciences en égyptologie*, Manchester : Manchester University Press, 1986, p. 458). 78 Pétrie, *Outils et Armes*, PL. LXV, N109. 79 Coghlan, *Métallurgie préhistorique*, p. 85.
- 80 Davies, *Rekhmirê*, vol. II, pl. LIII. Voir pl. LII, pour la coupe du cuir. Voir Pétrie, *Outils et Armes*, p. 50, svp. LIII, L49, LXII, L1-2, pour des exemples de couteau tranchant.
- 81 Pétrie, *Outils et Armes*, p. 59.
- 82 AG Reisner, *Fouilles à Kerma*, Cambridge, MA : Musée Peabody de Harvard Université, 1923, parties IV-V, pp. 93-4. 83 Davies, *Rekhmirê*, vol. II, svp. LII et LIII.
- 84 Un arc de Kahun pour conduire un exercice d'incendie, maintenant MM 65. 85 Lucas et Harris, *EMI*, p. 134-5.
- 86 E. Teeter, « Techniques et terminologie de la corderie dans l'Égypte ancienne » *JEAT73*, 1987, pp. 71-7, pl. VII, 3, VIII, 1, 2, IX. 87 Davies, *Rekhmirê*, vol. II, pl. LII. 88 Pétrie, *Illahun*, p. 29, pl. IX, 6.
- 89 Stocks, 'Technologie industrielle', vol. I, p. 23-33.
- 90 H.Carter, *Le tombeau de Tut.Ankh.Amen*, Londres : Cassell, 1933, vol. III, pl. XXXVIII. 91 Pétrie, *Kahun*, PL. IX, p. 28. Maintenant MM 23.
- 92 Pétrie, *Kahun*, PL. XVIII, 14 ; Pétrie, *Outils et Armes*, PL. XLIII, M7. 93 Pétrie, *Illahun*, PL. VII, 24.
- 94 Stocks, 'Technologie industrielle', vol. I, p. 55-82.
- 95 Gilmore, « La composition des métaux Kahun », pp. 447-87 ; M. Cowell, 'Le composition de la ferronnerie égyptienne à base de cuivre », dans AR David (éd.) *Sciences en égyptologie*, Manchester : Manchester University Press, 1986, p. 463-8.

- 96 A. Lucas a déclaré que l'étain dans le bronze ancien variait d'environ 2 % à 16 % (Lucas et Harris, *EMI*, p. 217, 486-9).
- 97 J. Sebilian, « Le cuivre ancien et ses alliages », *AE*, mars 1924, p. 8; MA Colson, 'Sur la fabrication de certains outils métalliques chez les Égyptiens', *ASAÉIV*, 1903, p. 190-2.
- 98 Lucas et Harris, *EMI*, p. 223, 243-4, 251, 485-9.
- 99 J. Weinstein, « Une référence de la Cinquième Dynastie au recuit », *JARCÉXI*, 1974, p. 23-5. 100 Maddin, Stech, Muhly et Brovarski, 'Modèles de l'Ancien Empire de la tombe d'Impy : études métallurgiques », p. 39.
- 101 Reisner, *Fouilles à Kerma*, p. 93-4. 102 Davies, *Rekhmiré*, vol. II, pl. LIV.
- 103 DA Stocks, 'Outils de l'ancien artisan', *Archéologie populaire* 7 (6), 1986, p. 25-9 ; Stocks, 'Technologie industrielle', vol. I, p. 83-99 ; DA Stocks, « Méthodes romaines de travail de la pierre dans le désert oriental d'Égypte », dans NJ Higham (éd.) *L'archéologie de l'empire romain : un hommage à la vie et à l'œuvre du professeur Barri Jones*, Oxford : Archaeopress, 2001, p. 283-6. 104 Pétrie, *Outils et Armes*, PL. XLVI, M61. 105 Davies, *Rekhmiré*, vol. II, pl. LIII. 106 Pétrie, *Architecture égyptienne*, p. 30.
- 107 M. Lane, 'La scie sauteuse en Egypte', *L'Égypte ancienne et l'Orient* juin 1935, p. 57. 108 D. Arnold, *Construire en Egypte : la maçonnerie de pierre pharaonique*, New York : Université d'Oxford Presse, 1991, p. 266, fig. 6.23.
- 109 Vattenbyggnadsbyrån (VBB), *Le sauvetage des temples d'Abou Simbel, conclusion Rapport - décembre 1971*, Stockholm : Vattenbyggnadsbyrån, 1971, p. 55.
- 110 Blackman et Apted, *Les tombeaux rupestres de Meir*, PL. XVIIIe ; WMF Petrie, *Deshasheh*, Londres : Egypt Exploration Fund, 1898, pl. XXI. 111 Blackman et Apted, *Les tombeaux rupestres de Meir*, PL. XVIII.
- 112 Davies, *Rekhmiré*, vol. II, pl. LIII. 113 Idem.

3

UN SILEX POUR TOUTES LES SAISONS

Quelques preuves du travail des pierres dures

De nombreuses discussions ont eu lieu sur la façon dont les anciens artisans égyptiens travaillaient les pierres dures. Ceux-ci comprenaient le granit, le basalte, la diorite, le porphyre et le quartzite (toutes les pierres ignées de dureté Mohs 7, à l'exception du quartzite, Mohs 6-7, la variété égyptienne étant une pierre sédimentaire, pas le type normalement métamorphique). Les expériences évaluées au chapitre 2 ont indiqué que même la calcite, une pierre relativement « tendre » de dureté Mohs 3-4, ne peut pas être taillée efficacement avec des outils en alliage de cuivre. En particulier, la taille des bas-reliefs incisés et des hiéroglyphes dans les pierres dures (figure 3.1), ainsi que la fabrication d'extérieurs de vases et de sculptures en pierre dure, ont fait l'objet de nombreuses spéculations. Il apparaît également que d'autres pratiques techniques ont dû leur développement à l'existence d'un matériau d'outillage dur auquel on pouvait donner des arêtes exceptionnellement tranchantes ; la gravure du cuivre en est un exemple. L'intention principale de ce chapitre est de démontrer comment ces fonctions de taille de pierre, de sculpture et de gravure auraient pu être accomplies par la fabrication et l'emploi d'outils en pierre particuliers. L'énorme quantité de travail de la pierre dure ancienne nécessitait un matériau d'outil abondant et très dur, et pourtant suffisamment résistant pour résister dans une certaine mesure aux contraintes qui lui étaient imposées, même si, par définition, une substance très dure est susceptible d'être cassante. Les fonctions de sculpture et de gravure auraient pu être accomplies par la fabrication et l'emploi d'outils en pierre particuliers. L'énorme quantité de travail de la pierre dure ancienne nécessitait un matériau d'outil abondant et très dur, et pourtant suffisamment résistant pour résister dans une certaine mesure aux contraintes qui lui étaient imposées, même si, par définition, une substance très dure est susceptible d'être cassante. Les fonctions de sculpture et de gravure auraient pu être accomplies par la fabrication et l'emploi d'outils en pierre particuliers. L'énorme quantité de travail de la pierre dure ancienne nécessitait un matériau d'outil abondant et très dur, et pourtant suffisamment résistant pour résister dans une certaine mesure aux contraintes qui lui étaient imposées, même si, par définition, une substance très dure est susceptible d'être cassante.

Le titre de ce chapitre indique que le silex, en tant que matériau d'outillage, occupe le devant de la scène. Bien que de nombreux outils prédynastiques et dynastiques aient été fabriqués à partir de vrai silex (Mohs 7), d'autres outils ont été fabriqués à partir de chert (Mohs 7).¹ Le chert, ou hornstone comme on l'appelle parfois, est un type de silex impur et souvent confondu avec le vrai silex; le silex et le chert sont décrits plus en détail dans la section suivante. Afin d'éviter toute confusion et répétition inutile dans ce chapitre, les outils fabriqués à partir de nodules de silex et de chert seront appelés « silex » : les outils en silex et en chert sont capables d'effectuer des opérations de taille similaires sur la plupart des matériaux.² Cependant, là où la mention du chert est essentielle à la compréhension de la taille expérimentale de pierres particulières, les outils en chert seront distingués des outils en silex.

À la douzième dynastie Kahun, il existe de bonnes preuves que des outils en pierre étaient encore produits. Par exemple, une hache en silex (MM 242), des herminettes en silex (MM 245, 246), des couteaux en silex (MM 239A, 240) et des ciseaux et poinçons en silex (MM 198) cohabitaient avec des outils métalliques. Bien que les outils en silex de l'Empire du Milieu soient plus nombreux que ceux en métal à Kahun, il est prouvé que dans la ville voisine de la XVIIIe dynastie de Gurob, les outils en métal prédominaient sur le silex.³ Les preuves archéologiques des outils dynastiques en silex - grandes lames, couteaux, faucilles, grattoirs, foreurs, burins et lames à manche utilisés pour couper la viande⁴ - peut donner une image incomplète de la véritable mesure dans laquelle le silex et le chert ont été utilisés pendant la période dynastique.

Des outils en pierre ont été utilisés pour diverses applications de travail de la pierre à l'époque dynastique. Par exemple, des mauls en pierre dure datant de l'Ancien et du Moyen Empire ont été utilisés comme une forme de marteau, et ceux-ci ont été découverts sur divers sites, y compris Meidum, Gizeh et Beni Hasan, et sur des sites de carrières dans le Sinaï, Assouan et à Hatnub, où la calcite était extraite.⁵ L'utilisation de masses pour extraire et façonner la pierre était répandue dans toute l'Égypte et a dû rapidement augmenter lorsque la pierre a été utilisée pour la première fois dans l'architecture sous la première dynastie. Certains masses lourdes étaient tenues à la main, mais une maille pour habiller une statue dans la tombe de Ti à Saqqarah était équipée d'un manche en bois.⁶ Afin qu'une poignée puisse être installée, une rainure a été creusée autour du milieu du maillet,



Illustration 3.1. L'obélisque de granit rose profondément incisé de Thoutmosis Ier au temple de Karnak



Illustration 3.2. Une tranchée creusée dans le granit sur l'un des côtés de l'obélisque inachevé d'Assouan

ou vers une extrémité. Une poignée se composait de deux bâtons courts torsadés ensemble avec une lanière attachée autour de la rainure, ce qui rendait l'union entre le maul et la poignée extrêmement sûre. Un bon exemple est un maillet en quartzite, avec sa poignée d'origine toujours en place (MMA 20.3.190), provenant de la tombe de Mektira. Des mauls rainurés ont été localisés à Meidum, Gizeh et Lisht.⁷

Des marteleurs ou des masses de pierre tenus à la main sont parfois représentés dans des illustrations de tombes; des exemples de broyeur de dolérite récupérés sont MMA 11.151.733-5, et un broyeur antérieur a été trouvé sur le sol de basalte du temple mortuaire à l'est de la pyramide de Khufu (Bristol Museum H5237). En 1943, le Metropolitan Museum of Art de New York publie des scènes de la tombe de Rekhmire, tirées des originaux de Norman de Garis Davies. Des ouvriers sont représentés utilisant des masses sur un sphinx en calcaire blanc et une table d'offrande (voir Figure 2.27).⁸Les boules de dolérite, qu'elles soient tenues à la main ou munies de poignées ne sont pas connues, ont été utilisées pour marteler des tranchées (figure 3.2) autour de l'obélisque inachevé de 1 160 tonnes (figure 3.3) à Assouan, en Haute-Égypte : les pilonneurs étaient situés dans la carrière de granit rose . Le travail initial de la pierre par pilonnage, en particulier sur les surfaces courbes, est reconnaissable aux taches blanchâtres de pierre concassée, en particulier sur la pierre dure, laissées à la suite de ce type de travail.⁹Bien que la pierre préférée des pilonneurs soit la dolérite, ils étaient également fabriqués à partir de nodules de chert et de silex sous la douzième dynastie,¹⁰et probablement à d'autres périodes.



Illustration 3.3. L'obélisque inachevé d'Assouan

Des grattoirs en silex étaient utilisés pour la finition des surfaces calcaires. Par exemple, ils ont été employés vers la fin de la troisième dynastie dans la tombe de Ra-nefer.¹¹ La finition fine des hiéroglyphes en bas-relief, afin de créer des contours nets, a été facilitée par l'utilisation habile de grattoirs en silex.¹² L'artisan doit avoir possédé différents grattoirs pour les parties difficiles du travail. De même, les surfaces finies des hiéroglyphes incisés dans des pierres plus tendres doivent également avoir été aidées par l'emploi de grattoirs en silex.

Au XXe siècle de notre ère, et probablement remontant à deux siècles auparavant, les artisans du génie utilisaient des grattoirs en acier trempé sur le laiton, la fonte et l'acier. Au cours d'un apprentissage en génie mécanique, les apprentis ont appris à utiliser un grattoir en acier plat, qui avait une légère courbe latérale à son tranchant. Ce grattoir a été utilisé pour finir les surfaces en acier usinées des vannes coulissantes des machines à vapeur, qui ouvraient et fermaient les orifices d'entrée et d'échappement (trous) vers et depuis le cylindre à vapeur. Ces vannes à vapeur, pour fonctionner efficacement, devaient être étanches à la vapeur sous une pression considérable, et cette méthode de raclage assurait leur intégrité contre la perte de vapeur à haute pression pendant les cycles d'ouverture et de fermeture. De même, le montage de gros coussinets en laiton sur les paliers principaux du vilebrequin du moteur, – latéralement et verticalement. Ces grattoirs spécialement conçus sont parfaitement adaptés pour racler les surfaces métalliques incurvées. Outils en silex, possédant des bords courbes similaires,¹³ sont également idéales pour ce type de travail sur la pierre. Fondamentalement, les compétences de grattage modernes ressemblent étroitement à celles utilisées dans l'Égypte ancienne ; seuls les matériaux à partir desquels les grattoirs modernes sont fabriqués ont changé. Des expériences ont montré que le grattage de pierre beaucoup plus dure que le calcaire tendre est possible, et cet aspect sera mentionné plus loin dans le chapitre.

L'utilisation de ciseaux en fer de la période tardive pour tailler des hiéroglyphes et des reliefs dans des pierres ignées a été discutée et rejetée dans le chapitre précédent. À l'appui de cette affirmation, il existe des preuves écrites, provenant d'une source ancienne, que le fer n'était pas utilisé pour couper des pierres très dures. L'écrivain classique Théophraste (du IVe au IIIe siècle avant JC), fournit un aperçu précieux quant à savoir si des outils en fer ou en pierre ont été utilisés pour couper les pierres dures. Dans les livres LXXII et LXXV de *Histoire des pierres*,¹⁴ Théophraste dit :

Comme certaines des pierres nommées ci-dessus sont d'une texture si ferme qu'elles ne sont pas sujettes aux blessures et ne doivent pas être coupées par des instruments de fer, mais seulement par d'autres pierres . . . et d'autres encore, qui peuvent être coupés avec du fer, mais les instruments doivent être émoussés et émoussés : ce qui revient à peu près comme s'ils n'étaient pas coupés avec du fer.¹⁵

Le silex et le chert étaient-ils les « autres pierres » auxquelles Théophraste faisait référence ? Au début du XXe siècle, Reginald Engelbach^{16a} a confirmé la déclaration de Théophraste en essayant de couper le granit avec un ciseau en fer, mais est devenu convaincu que les anciens Égyptiens utilisaient un outil beaucoup plus dur sur cette pierre. Les outils en fer disponibles dans

L'époque de Théophraste était probablement inférieure en dureté et en ténacité aux outils en acier¹⁷ probablement à la disposition des maçons romains travaillant le porphyre et le granit gris à Gebel Dokhan (Mons Porphyrites) et Mons Claudianus respectivement dans le désert oriental d'Égypte du premier au quatrième siècle UN D. C'est ce que suggèrent les essais de dureté menés sur une machine du IIe siècle. UN D Ciseau de tailleur de pierre romain en acier à haute teneur en carbone de Chesterholm, Royaume-Uni, qui a révélé une dureté d'arête variable de VPN 579 jusqu'à 464, avec le corps du ciseau à VPN 136.¹⁸

Il est probable que les maçons romains du désert oriental aient été équipés d'outils en acier capables d'être forgés et durcis à au moins la dureté du IIe siècle. UN DCiseau de Chesterholm. Les constituants du tranchant de ce burin - ferrite écroûie et un peu de martensite et d'autres matériaux - prouvent une intention de durcir l'outil par chauffage et trempe mais, plus important encore, ils prouvent que le forgeron a délibérément augmenté la teneur en carbone, quoique de manière inégale, en plaçant l'outil semi-forgé dans une zone réductrice du foyer.¹⁹

Bien qu'un ciseau romain en acier conique plat de VPN 579 ait pu être capable d'ébrécher de petits morceaux de porphyre à grain fin de la surface rugueuse d'un bloc, une pierre légèrement plus facile à couper que le granit rose d'Assouan, son bord serait rapidement devenu émoussé, nécessitant un reforgeage et un durcissement trop fréquents. Des tests avec un poinçon en acier moderne (VPN 800) sur de la diorite suggèrent que le type d'outil romain utilisé pour façonner grossièrement le porphyre et le granit dans le désert oriental était probablement un poinçon, pas un ciseau.

Cette méthode est aujourd'hui utilisée dans la carrière de granit rose de Hamada Rashwan située à Assouan, en Haute-Égypte. Ici, un maçon crée des sculptures en ébréchant progressivement le granit à gros grains avec un poinçon en acier trempé (probablement autour de VPN 800, mais pas testé pour la dureté - voir tableau 2.4). La pointe d'origine s'aplatit progressivement au fur et à mesure de l'écaillage, formant un petit carré à l'extrémité du cône à quatre côtés. Ce carré forme des arêtes aux quatre côtés du cône, chacune possédant un angle d'environ 95°. Ceux-ci peuvent être conçus pour agir comme des arêtes de ciseau, ainsi que pour utiliser l'outil comme un simple poinçon. Le bord d'un ciseau plat et conique forme un angle d'environ 60 °, qui est susceptible de s'émousser plus rapidement que les quatre bords obtus d'un poinçon. Les poinçons modernes en acier aplati sont assez efficaces sur les surfaces de pierre ignée rugueuses pendant un certain temps,

Enfoncer le poinçon en acier trempé dans une surface de diorite aplatie et lissée l'a soigneusement testé. Les quatre tranchants obtus du ciseau ont été rapidement émoussés, de petits morceaux de métal en ont été arrachés. Le poinçon a causé quelques dommages limités à la pierre, mais le reforgeage et le durcissement nécessairement fréquents de l'outil étaient contre-productifs pour son utilisation efficace à cette fin. Le forgeron de la carrière d'Assouan a trempé les derniers millimètres d'une pointe reforgee en plaçant l'outil verticalement dans de l'eau froide peu profonde contenue dans un bac métallique. On pouvait l'observer en train de marteler et de durcir des dizaines de coups de poing à la fois. Cependant, le nombre total de poinçons en circulation était suffisamment élevé pour que tous les maçons travaillent sans interruption. Les Romains pratiquaient-ils cette méthode dans le désert oriental ?

En ce qui concerne la *Coupedes* inscriptions dans le porphyre et le granit de Gebel Dokhan et de Mons Claudianus, les maçons romains ont-ils utilisé des ciseaux et des poinçons en silex, plutôt que de risquer d'endommager rapidement et inutilement leurs outils en acier ? À l'appui de cette hypothèse, les ouvriers des carrières et les maçons romains avaient certainement un accès relativement facile au silex gris du Wadi Abu Had, à quelque 50 km au nord de Gebel Dokhan, et il existe des preuves d'une installation romaine là-bas.²⁰ Cette installation (WAH 30) est contemporaine de l'extraction romaine tardive du porphyre à Mons Porphyrites, mais il peut y avoir une association romaine antérieure, encore inconnue, avec le Wadi Abu Had du premier au troisième siècle. UN D: plusieurs petites installations romaines tardives ont été découvertes par Bomann²¹ dans le Wadi Dib, qui jouxte le Wadi Abu Had.

Il est possible que le Wadi Abu Had du IV^e siècle UN D L'installation romaine était liée à la collection de nodules de silex contenus dans les collines calcaires de Gebel Safr Abu Had, situées dans le Wadi Abu Had.²² Les nodules auraient pu être taillés en ciseaux et poinçons près du point de collecte, réduisant le poids au minimum pour le transport, ou ramenés à Gebel Dokhan et Mons Claudianus pour y être taillés. La taille des nodules de silex en outils crée un nombre considérable d'éclats visibles, mais il est peu probable que les petits fragments cassés des ciseaux et poinçons en silex utilisés pour couper les inscriptions dans les blocs de porphyre et de granit soient immédiatement visibles dans la carrière fortement sablée. aujourd'hui.

La position et la nature des marques laissées dans la pierre de certains monuments persuadèrent Engelbach²³ pour conclure que les sculpteurs égyptiens antiques utilisaient un outil similaire à la pioche en métal d'un maçon moderne, un marteau pointé aux deux extrémités équipé d'un manche en bois, bien qu'aucun outil de ce type n'ait jamais été localisé en Égypte. Dieter Arnold fait référence aux marques de carrière, également faites par des «pioches».²⁴ En fait, de nombreux artefacts anciens inachevés, fabriqués à partir de pierre dure, présentent des marques qui indiquent que des mauls pointus tenus à la main, ou des poinçons et des ciseaux en pierre entraînés avec des marteaux, ont été utilisés dans leur fabrication. Dans certains objets, les marques (piqûres) deviennent progressivement plus petites à mesure que le travail avance vers l'achèvement. Une collection de sculptures inachevées de dolérite, de schiste et de granit de la période tardive et d'autres œuvres contenues dans le musée du Caire (JE33301-33313, 33321, 33388, 33473, 33476), et examinées par CC Edgar et Alfred Lucas,²⁵ montrent clairement ces caractéristiques de production intéressantes, bien qu'elles aient été fabriquées à l'époque où les outils en fer existaient en Égypte. Cependant, les travaux expérimentaux suggèrent que, même à la Basse Époque, les outils pour travailler les pierres ignées et pour les extraire devaient être fabriqués en pierre, et que les principaux modèles d'outils en pierre étaient des mauls sphériques et pointus, comme ainsi que des ciseaux et des poinçons. Des ciseaux en fer auraient été utilisés pour les pierres plus tendres, comme les outils en cuivre et en bronze l'étaient autrefois, mais l'utilisation expérimentale de ciseaux et de poinçons ferreux sur les pierres dures a démontré les limites sévères des outils pour ce type de travail.²⁶

À Kahun, plusieurs artefacts en silex de la douzième dynastie (MM 248) ont été découverts, qui auraient pu être enfoncés avec un marteau ou un maillet pour perforer la pierre dure et tendre. Les silex sont pointus à une extrémité, tandis que les extrémités opposées ont

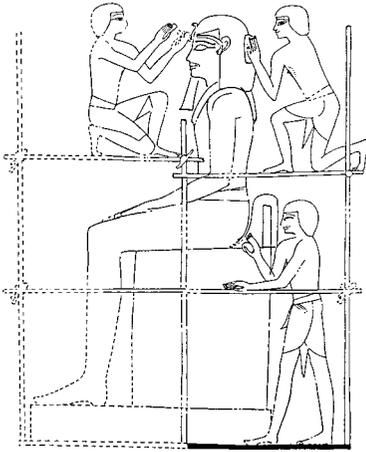


Illustration 3.4 Un colosse de granit, comme représenté dans la tombe de Rekhmire à Thèbes. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Ré à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LX. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

été dressé sur une surface plane. Des outils anciens d'une telle taille et forme sont indiqués à la fois par le travail expérimental de la pierre dure et tendre et par l'examen des illustrations de tombes. Par exemple, dans la tombe de Rekhmire à Thèbes,²⁷ la tête d'un colosse de granit rouge assis (figure 3.4), construite à près de deux fois grandeur nature, est sculptée dans sa forme définitive avec un marteau en pierre entraînant un ciseau ou un poinçon. Cela semble être un élément de preuve important en ce qui concerne deux aspects du travail des pierres dures : l'emploi d'un marteau de pierre pour ce travail et l'utilisation d'un outil qui est, en association avec le granit, très peu susceptible d'avoir été fabriqué à partir de cuivre ou bronze. Le fer doit être actualisé en raison de la période dynastique. Le ciseau ou le poinçon devait donc avoir été fabriqué en pierre, et cette pierre était probablement du silex. L'artisan représenté en train de ciseler le sphinx dans la tombe de Rekhmire,²⁸ peut avoir utilisé un silex

outil, même si le sphinx est en calcaire blanc. L'utilisation simultanée ancienne de ciseaux à métal et à pierre sur la pierre tendre ne peut être exclue, et les preuves archéologiques et expérimentales ultérieures de ce chapitre soutiennent l'utilisation de ciseaux à pierre et de poinçons sur la pierre tendre. En tout état de cause, il a déjà été démontré que des herminettes et des grattoirs en silex étaient utilisés sur la pierre tendre.

En association avec le travail du calcaire à grande échelle à Gizeh, Petrie²⁹ trouva des silex dans des décharges près de la Grande Pyramide. Il a noté que les copeaux de déchets des maçons étaient éliminés en les jetant par-dessus les falaises situées au nord et au sud de la Grande Pyramide. Ces décharges étaient composées de couches de gros gravillons, de fines poussières et de balayures, et de couches de silex et de sable, indiquant qu'un terrain désertique avait été défriché afin d'augmenter l'espace de travail. Il est possible que ces silex aient été produits en taillant les outils des nodules sur le chantier, les outils ayant été nécessaires pour le dégrossissage préliminaire des blocs calcaires et granitiques intérieurs de la pyramide. Si tel était bien le cas, la destruction progressive des outils en silex aurait également contribué à la densité des silex tranchants éparpillés sur la zone de travail. Un débroussaillage périodique des silex aurait été nécessaire pour des raisons de sécurité. Près de la pyramide de Sésostri Ier, Dieter Arnold³⁰ trouva des couches de débris de constructeurs contenant de la poussière de granit, indiquant que le matériau y a été travaillé. Il n'y avait aucune trace détectable de décoloration verdâtre des outils en cuivre, mais les grandes quantités d'éclats de silex suggèrent que des outils en silex ont été utilisés pour habiller le granit.

Souvent, des piqûres à la surface d'une pierre peuvent être observées au bas des hiéroglyphes incisés dans divers types de pierre. Cette piqûre, causée par un poinçon pointu, est normalement grattée jusqu'à une finition plate. Cependant, deux sarcophages du Musée du Louvre, Paris, illustrent les difficultés inhérentes à ce procédé. Les deux sarcophages ont des centaines de petits hiéroglyphes incisés sur leurs surfaces intérieures. Dans le sarcophage N345 D9, en grauwacke, les fonds et les côtés des signes incisés ont été grattés jusqu'à une finition plate. Dans l'autre sarcophage (N346 D10), en granit noir, considérablement plus dur que le grauwacke, aucune tentative n'a été faite pour gratter la pierre dénoyautée de la même manière que le sarcophage en grauwacke. L'effort pour accomplir une telle tâche aurait été énorme, en raison du temps requis pour chaque signe. De bons exemples de piqûres similaires de hiéroglyphes incisés inachevés et de figures en calcite sont montrés dans une statue de calcite brisée de la quatrième dynastie de Menkaure au Boston Museum of Fine Arts (11.3146), et les bords canopes de la dix-neuvième dynastie de Thénouth au Brooklyn Museum of Art (48.30.1-4), de Saqqarah. Une stèle de basalte du Manchester Museum (8134) présente une surface piquée similaire sur les représentations incisées dans la pierre.

Toujours au musée du Louvre, un bel exemple de statue en granit ciselé (D31) d'un groupe de quatre babouins. Les rainures ébréchées pour représenter la fourrure des animaux n'ont pas été lissées, mais semblent avoir été laissées rugueuses, tout comme l'artisan les a ciselés. Les variations de la largeur et de la profondeur des marques de ciseau indiquent que plusieurs ciseaux à pierre étaient utilisés et que la force des coups de marteau ou de maillet se modifiait au fur et à mesure que chaque rainure était taillée. À certains endroits, le ciseau a pénétré à une plus grande profondeur que la normale, ébréchant un plus gros morceau de pierre.

Silex et chert : une brève description

Bien que le cuivre ait commencé à compléter les outils en silex à la fin de la période néolithique, ca. 4000^{avant JC}, le silex est resté utilisé comme matériau de fabrication d'outils tout au long de la période prédynastique et pendant la majeure partie de l'ère dynastique. Cependant, les outils tranchants en silex et en chert ont progressivement diminué en nombre et en qualité au cours de la période dynastique, se terminant plus ou moins lorsque les procédés technologiques de transformation du fer forgé en acier trempé et revenu se sont établis au VII^e siècle.

^{avant JC}.³¹ Même après cette date, cependant, des ciseaux et des poinçons en silex et en chert ont dû être produits pour travailler les pierres très dures.

Certaines pierres dures ont été considérées comme candidates à la fabrication d'outils anciens. Ce sont l'obsidienne, la dolérite et la diorite. Cependant, l'obsidienne était une pierre volcanique importée semblable à du verre. Sa rareté et sa nature extrêmement fragile l'excluent de tout examen ultérieur. Bien que la dolérite, un basalte à gros grains, ait été utile pour marteler d'autres pierres dures, des fragments de dolérite et des ciseaux de diorite ont été testés par Antoine Zuber³² et par Reginald Engelbach³³ pour tailler le granit. Cependant, en tant que matériaux d'outils, ils souffrent tous deux d'une incapacité à tailler efficacement et de manière décisive les pierres dures. Tests approfondis d'outils en diorite, dolérite, calcaire silicifié ou cristallin, et de ciseaux et poinçons en silex et chert³⁴ Afficher

seulement *ça flent* les outils peuvent vraiment couper dans *tous* pierres ignées, en particulier la variété à gros grains, comme le granit rose. Les expériences de mars 1999 avec certains *chert* des burins et des poinçons sur le granit rose d'une carrière d'Assouan ont démontré que les outils n'étaient pas tout à fait assez durs pour tailler cette pierre.³⁵

La disponibilité d'importants gisements de silex et de chert comme ressource pour la fabrication d'outils tranchants garantissait que les artisans dynastiques étaient équipés pour fabriquer la plupart des artefacts, même si les outils métalliques étaient temporairement rares. Le silex, en tant que matériau de fabrication, est moins cher à obtenir que le cuivre fondu à partir de minerai, mais prend plus de temps à façonner en un outil individuel que de couler un outil similaire en métal. Pendant de nombreux millénaires avant l'établissement de la civilisation égyptienne et l'introduction des outils en cuivre, le silex avait été taillé dans des pointes de flèches et des pointes de lance pour la chasse, et dans des outils de nombreux modèles, qui étaient utilisés pour fendre, couper, gratter, sculpter, scier. et forage de matériaux, tels que les plantes, les peaux d'animaux, l'ivoire, le bois et la pierre. L'artisan prédynastique utilisait des outils en silex pour perforer des perles de pierre dures et semi-précieuses.³⁶ L'utilisation simultanée d'outils en silex et en métal de conception comparable dans les périodes prédynastique et dynastique n'aurait pas été considérée comme inhabituelle, ni la substitution d'outils en silex à la place d'outils en cuivre de conception similaire, mais indisponibles. A l'époque dynastique, la sculpture du bois impliquait probablement encore l'utilisation d'outils en silex, notamment pour enlever l'écorce des tiges fraîchement coupées. Les outils en silex ont continué à être utilisés pour de nombreuses autres tâches, y compris la coupe de matières végétales, telles que celles utilisées pour la fabrication de cordes, et la fabrication de lin et de papyrus.

Le silex est une forme dense de silice, de couleur gris foncé ou noire (voir la figure 3.6).³⁷ Bien que la dureté du silex soit classée Mohs 7, les tests³⁸ montrent qu'il est légèrement plus dur que le quartz, également Mohs 7. Le silex se présente sous forme de nodules et de couches dans le calcaire éocène, et peut également être librement ramassé sur le sol où les intempéries les ont libérés. Les nodules de silex prennent des formes assez alambiquées, étant à l'origine formés à partir des squelettes de silice d'éponges mortes qui vivaient dans la mer peu profonde couvrant une partie de l'Égypte il y a environ 50 millions d'années.³⁹ Ces squelettes ont été déposés sur le sol calcaire embryonnaire de la mer, parmi les millions de petites créatures marines dont cette roche sédimentaire est composée. Les squelettes de silice se sont dissous et ce matériau a ensuite été déposé sous forme de nodules de silex, qui occupaient individuellement des espaces dans le calcaire. La source de silex la plus au sud se trouve dans les montagnes de Thèbes Ouest, mais un silex d'excellente qualité a été extrait à Wadi el-Sheikh et à Wadi Sojoor, tous deux à environ 130 km au sud du Caire, et dans les environs est de la vallée du Nil.

Lorsqu'il est frappé avec un marteau (percussion-écaillage), qui dans les temps anciens peut avoir été fait d'os, de bois de cerf, de pierre ou de bois, le silex se casse avec une fracture conchoïdale (en forme de coquille); le silex nouvellement fracturé possède des bords extrêmement tranchants, et ceux-ci peuvent être affinés par écaillage sous pression, une technique employant l'utilisation habile d'un outil pointu. En particulier, fournir un outil en silex avec des denticules a augmenté la longueur totale d'un bord agissant sur un matériau. Deux denticulations adjacentes se rencontrent en un point qui dépasse d'elles. Par conséquent, le denticulé

edge est un précurseur de la scie à métaux dentelée. Cette capacité de coupe efficace est si importante que de nombreux couteaux en acier modernes sont dotés de tranchants denticulés. Le processus de broyage creux des denticules dans un couteau en acier n'est appliqué que sur un côté du bord de la lame. Certaines denticulations incurvées dans les couteaux à fond creux modernes sont remarquablement similaires à celles observées dans les faucilles et les couteaux en silex de l'Égypte ancienne.

Des nodules de chert se trouvent également dans le calcaire, et les anciens artisans les utilisaient parfois pour fabriquer des outils. Par exemple, des mauls et des ciseaux en chert ont été trouvés à Thèbes de la dix-huitième dynastie par Howard Carter,⁴⁰ les nodules de chert provenant probablement de l'oued Bairyia, en face d'Armant, juste au sud de Thèbes. Les outils utilisés pour tailler grossièrement le calcaire lors de la construction des tombes ont été fabriqués sur les chantiers, à en juger par les amas d'éclats qui s'y trouvaient. Le chert a une couleur gris clair ou brun clair et, bien que composé presque entièrement de silice, se rompt avec une fracture plate, plutôt qu'avec les dépressions et les élévations en forme de coquille du silex fracturé. Les outils en chert reconstruits étaient adéquats pour travailler la plupart des pierres. Cependant, les expériences avec les outils en silex et en chert sur des pierres ignées particulières ont démontré une disparité critique de dureté entre eux.

Les expériences avec les outils en silex

Les principaux types d'outils étudiés étaient des couteaux, des ciseaux, des poinçons, des grattoirs, des échoppes, des herminettes et des marteaux de fabrication rudimentaire, chaque type d'outil étant fabriqué à partir de silex et de chert. Les évaluations des outils en silex ont été effectuées par la coupe d'essai de granit rose, de granit bleu à grain fin, de diorite, de calcaires durs et tendres et de grès, en plus de la calcite, du cuivre, du bronze et du bois à Manchester, en Angleterre, en 1981-2. Des ciseaux, des poinçons, des grattoirs et des burins en chert ont été essayés sur du granit rose à Assouan, en Haute-Égypte, en mars 1999, et plus tard dans l'année sur des calcaires et des grès durs et tendres, de la calcite, du cuivre, du bronze et du bois à Manchester.

Bien que la taille du silex et du chert soit un art hautement qualifié et qu'il vaille la peine d'investir du temps pour fabriquer des outils utilisés uniquement sur des matériaux plus tendres, les ciseaux et les poinçons en silex grossièrement fabriqués pour être utilisés sur les granites et la diorite se sont avérés adéquats pour les expériences. La simplicité d'affûtage d'un outil en silex le rend attrayant pour un maçon. La percussion de la pierre, plus en arrière le long de la lame, provoque la création d'un tranchant frais et tranchant. L'utilisation d'essai de ces outils en silex et en chert sur les pierres tendres, par exemple le calcaire, a produit peu de dommages sur les bords des lames, et le taux d'élimination dans le calcaire tendre était considérable. Sans aucun doute, un ciseau façonné pour être utilisé sur de la pierre tendre conserverait sa forme originale pendant une période prolongée, et cela est suggéré par un ciseau en silex habilement fabriqué trouvé au fond de la fosse contenant le bateau de Khéops à Gizeh. Le burin de 15 cm de long a probablement été utilisé avec des burins en cuivre pour ajuster les blocs de couverture en calcaire au-dessus de la fosse.⁴¹ L'extrémité frappée comprend le cortex extérieur lisse et arrondi du nodule, idéal pour frapper avec un maillet en bois ou avec un marteau en pierre.

Il est probable que le maçon a fait tomber l'outil à travers un trou dans les dalles de toiture en calcaire lors de leur pose, ne pouvant pas descendre pour le récupérer.

Les herminettes dynastiques en silex, si efficaces pour travailler le calcaire tendre, n'auraient pas été utilisées sur les pierres plus dures. Les bords de ces outils se brisent et deviennent rapidement inutilisables. De nombreuses expériences indiquent que les anciennes herminettes en silex ne pouvaient être efficaces que pour le travail du bois et des pierres tendres, c'est-à-dire le calcaire tendre, les grès tendres, comme le grès rouge, et le gypse. Alors que les coups d'herminette en coup d'œil étaient très efficaces sur la pierre tendre et le bois, des tests ont démontré que la dureté de la calcite, et des pierres plus dures, s'avérait trop forte pour que cette technique soit d'une réelle utilité, et il est probable que les ciseaux à silex et les poinçons, leurs tranchants et leurs pointes positionnés verticalement sur des surfaces de pierre dure, étaient enfoncés d'un coup brusque donné avec un maillet ou un marteau de pierre.

Dans les musées d'Adélaïde (Australie), de Boston et de Philadelphie (États-Unis d'Amérique) et de Bolton, Londres et Manchester (Royaume-Uni) se dresse chacun une colonne de granit rose : ils proviennent tous du temple d'Herishef de la XIXe dynastie, un bélier-dieu à tête, à Héracléopolis. Le site du temple, près du Fayoum, a été fouillé par Edouard Naville à la fin du XIXe siècle.⁴²

Des feuilles de palmier ont été sculptées dans le chapiteau de chaque colonne, mais certains des chapiteaux sont maintenant manquants. Toutes les colonnes ont été incisées avec des signes finis dans leurs surfaces polies et courbes, attribuables à Ramsès II, avec d'autres signes inachevés attribués au pharaon suivant, Merenptah.

Les marques d'outils visibles autour et parfois dans les signes inachevés incisés dans plusieurs de ces colonnes ont été minutieusement examinées et mesurées. Les signes finis sont incisés à une profondeur maximale de 2,5 cm ; le bas de chaque signe progressivement



Illustration 3.5 Un hiéroglyphe inachevé, *nb*, dans la colonne de granit Bolton Museum and Art Gallery 1891.14. (Avec l'aimable autorisation du Musée et galerie d'art de Bolton)

courbes d'une profondeur minimale en son centre à une profondeur maximale sur les bords. Sur cette colonne, et sur les autres, tous les signes des panneaux alternatifs adjacents aux signes de Ramsès II sont inachevés. Après un examen attentif, ces signes sont, à ce stade du travail, grossièrement taillés dans la pierre; les bords sont extrêmement inégaux. Les surfaces taillées sont très rugueuses et des cristaux de quartz en dépassent. Cependant, des marques de burin de différentes tailles et à des angles aléatoires par rapport aux bords des panneaux peuvent être vues (figure 3.5). Dans les panneaux finis de Ramsès II, la surface a été rainurée par endroits. Ce rainurage a été lissé, contrairement au groupe de quatre babouins du musée du Louvre. Les surfaces non incisées de la colonne sont polies, mais il reste de petites piqûres.

L'un des symboles de la colonne finie est le signe bilitère en forme de panier en osier, *nb*. Le signe mesure 14 cm de longueur, 5 cm de largeur et 2,5 cm de profondeur, ayant un volume approximatif de 120 cm³. Un signe d'essai similaire, bien que plus petit, a été marqué sur un bloc de granit rose, après qu'il eut été préparé à plat. Le panneau devait mesurer 9 cm de long et 2,2 cm à son point le plus large. La surface totale du signe était de 13 cm². Le processus initial d'aplatissement de la pierre a été réalisé à l'aide d'un nodule de silex tenu à la main (Figure 3.6) ; les points hauts de la surface du granit étaient



Illustration 3.6 Marteler une surface de granit à plat avec un nodule de silex



Illustration 3.7 Un maillet en bois, Bolton Museum and Art Gallery 1904.48.67 de Deir el-Bahri, Haute-Égypte, a des fentes en forme de coin enfoncées dans sa surface de frappe. (Avec l'aimable autorisation du Musée et galerie d'art de Bolton)

abrasé et broyé jusqu'à une surface de 120 cm² est devenu acceptablement plat. La durée de cette opération était de 45 minutes. On a remarqué que le pilon en silex s'abîmait à son point de contact avec le granit. Ces dommages consistaient en de petits morceaux de silex ébréchés à la surface du maillet. Cependant, les pointes acérées laissées à la surface du silex ont frappé les points hauts du granit avec un bon effet. Le granit a ensuite été préparé avec des caoutchoucs de grès grossiers et lisses. Ceux-ci ont été employés pendant 15 minutes. Une surface lisse en a résulté, qui était une moyenne de tous les endroits les plus hauts et les plus bas de la pierre. Les petites fosses laissées dans la surface auraient nécessité beaucoup de travail pour les éradiquer et elles ont été laissées, tout comme les anciens artisans l'ont fait avec les colonnes de granit.

L'utilisation ancienne possible des maillets en bois et des marteaux en pierre, pour conduire des outils en silex, doit maintenant être étudiée. Un marteau en pierre finit par briser l'extrémité frappée d'un outil en silex cassant, surtout si l'extrémité martelée n'est pas formée à partir du cortex extérieur du silex; des blessures causées par des fragments volants sont probables. La frappe expérimentale d'outils en silex avec un marteau en pierre a démontré que de petites coupures pouvaient être causées au visage et aux bras de l'opérateur par la destruction régulière du silex au fur et à mesure de l'avancement des travaux. Il est probable que certaines lésions oculaires auraient également pu être causées par des silex volants dans les temps anciens. Un poinçon en silex, ou un ciseau, taillé sur une surface de frappe plate, comme les poinçons Kahun, aurait pu être enfoncé avec un marteau en pierre dans des pierres tendres et dures, en particulier à des fins de sculpture fine. Mais les outils en silex de forme maladroitement invitent à utiliser un maillet en bois pour les conduire. Le bois absorbe une partie de l'impact et tous les éclats de silex pénètrent dans le bois et, plus tard, tombent sans danger sur le sol lorsque la surface du maillet s'érode.

Certains maillets anciens présentent une usure circonférentielle sévère. Un maillet du Nouvel Empire (Bolton Museum and Art Gallery, 1904.48.67) de Deir el Bahri, Haute-Égypte, a des fentes en forme de coin percutées dans ses surfaces de frappe (Figure 3.7). Bien qu'il soit probable qu'elles aient été causées par un outil en métal, les fentes en forme de coin suggèrent la forme caractéristique de la section transversale d'un outil en silex fin. Petrie a déclaré que le maillet utilisé pour frapper le ciseau était toujours en bois. Sans aucun doute, Petrie faisait référence à des ciseaux à métal. Cependant, il est possible que l'usure circonférentielle des maillets en bois ait été causée par des outils en silex, en plus des outils en métal. L'utilisation expérimentale de poinçons et de burins en silex sur des pierres dures et tendres a démontré que, dans l'ensemble, les marteaux en pierre étaient plus favorables pour enfoncer des burins et des poinçons en silex dans les pierres plus dures,⁴³

L'écaillage de la pierre dure pour la taille des hiéroglyphes démontre un grand besoin d'orienter les tranchants et les pointes des ciseaux et des poinçons afin de contrôler la forme du signe. Par conséquent, la surface d'une pierre doit être frappée avec un outil *après* placer son tranchant, ou pointe, dans la bonne position. L'outil de coupe transmet le coup du marteau à travers son corps. (Il est très peu probable que de petits hiéroglyphes aient jamais été piratés avec des ciseaux à main ou des poinçons, bien que de grands hiéroglyphes aient pu être obtenus par cette méthode.) Il s'agit d'un changement fondamental par rapport au martelage d'un objet en forme. Le concept de provoquer une modification de la surface d'un matériau en frappant un ciseau ou un poinçon pointu avec



Illustration 3.8 Découper des morceaux de grès dur avec un ciseau à silex entraîné par un maillet



Illustration 3.9 Un incisé *ankh* signe sculpté dans du grès dur avec des ciseaux à silex et des poinçons

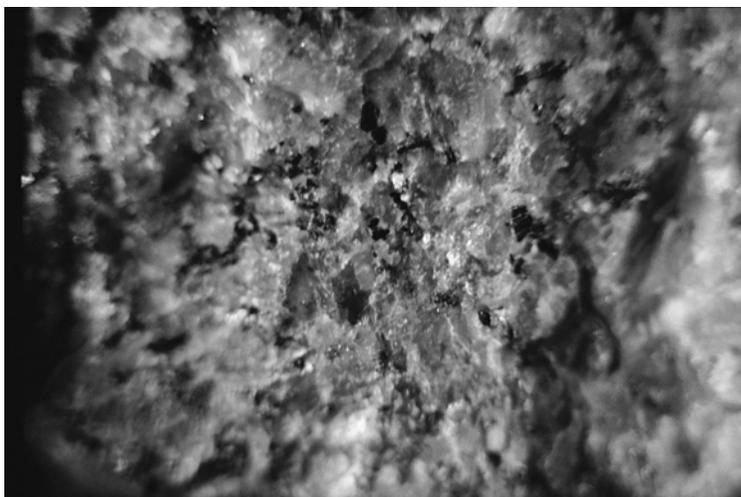


Illustration 3.10 La structure cristalline du granit rose

un marteau ou un maillet est un changement technique important dans l'utilisation des outils, quel que soit le moment où il s'est produit.

Le granit rose est une pierre à grain grossier, composée principalement de quartz, de mica et de feldspath, ce dernier minéral étant légèrement plus mou que le quartz (Figure 3.10). Le feldspath rosâtre, largement distribué dans la matrice de la pierre, et de plus grande taille que les cristaux de quartz et de mica, rendait ce granit particulièrement attrayant pour les anciens Égyptiens. L'action de ciselage sur le granit rose est améliorée si le tranchant du ciseau est tordu à un nouvel angle d'attaque, après un coup précédent. De cette manière, il est possible de tenir compte des différentes positions des cristaux de quartz dans la pierre. Après avoir ébauché le signe de test, des poinçons pointus ont été utilisés pour réduire la surface ciselée à une finition plus plate.

L'apparence piquée caractéristique d'objets anciens était en évidence au bas du signe. Ces résultats ont été confirmés par l'écaillage expérimental de calcaire dur et de diorite lissés et polis avec des poinçons en silex (Figure 3.11). L'examen des marques d'outils a montré que celles-ci ressemblaient également étroitement à d'anciennes marques d'outils.⁴⁴Silex



Illustration 3.11 La surface d'un bloc lisse de diorite taillé avec un ciseau à silex entraîné par un marteau en pierre (à gauche de la fente tubulaire)



Illustration 3.12 Montrant comment le signe pourrait être coupé en granit rose avec un ciseau à silex

des poinçons ont également été utilisés pour faire les trous de forme hémisphérique dans les pierres angulaires à utiliser avec les forets tubulaires à arc reconstruits.

Quatre centimètres cubes de granit rose ont été enlevés en 45 minutes de travail, soit un taux de 5,3 cm³/heure (Figure 3.12). A titre de comparaison, Antoine Zuber



Illustration 3.13 Gratter l'expérimental nbsigner avec un outil en silex



Illustration 3.14 Travail du calcaire tendre au grattoir en silex

sculpté une tête de granit de 20 cm de haut en 36 heures avec des outils en silex.⁴⁵L'enseigne expérimentale a été complétée par des grattoirs en silex (figure 3.13). Ces outils non seulement grattent les pierres tendres (Figure 3.14), mais sont également efficaces sur les pierres dures. Ce processus prend inévitablement plus de temps et, sur le granit, s'accompagnait d'une odeur âcre. Divers caoutchoucs de grès de qualité grossière et fine ont été utilisés pour lisser la surface du panneau (figure 3.15).

Lors des tests effectués en 1999 à Assouan, en Haute-Égypte,⁴⁶un bloc de granit rose a été préparé pour la découpe d'un deuxième signe bilitère, *nb*, en le martelant avec un marteau de dolérite et en meulant la surface lisse avec du sable et un caoutchouc de quartzite plat. Ce procédé, pour une surface de 400 cm², a pris un travailleur quatre heures pour terminer. Après avoir marqué le signe à 15 cm de long et 3 cm à son point le plus large sur la surface aplatie avec de la craie, des ciseaux à silex entraînés par un marteau en pierre ont été utilisés pour couper les cristaux de feldspath. Cette action a de nouveau isolé les cristaux de quartz et de mica adjacents, qui ont été piratés avec de nouveaux coups d'outils. Des poinçons en silex ont affiné la surface laissée par les ciseaux. Les ciseaux et les poinçons ont subi des dommages considérables lors de leur utilisation, nécessitant des taillages fréquents pour restaurer leurs tranchants et pointes. Le signe a été découpé à une profondeur de 4 mm, son volume de 12 cm³être enlevé en 2 heures 30 minutes. Le taux de découpe du panneau était d'environ 5 cm³/heure, similaire aux expériences de découpage de Manchester. Les ciseaux, les poinçons, les grattoirs et les burins en chert d'essai ont été fabriqués à partir de nodules provenant de la région de Louxor. Cependant, ces outils n'ont pas pu faire d'impression significative sur les cristaux de feldspath : la dureté du chert tombe nettement en dessous de celle du silex. Les expériences de Manchester et d'Assouan ont toutes deux confirmé la capacité des ciseaux et des poinçons en silex à travailler le granit rose, mais que la dureté des outils en chert est tombée juste en dessous de cette capacité.



Illustration 3.15Lisser lenbsigner avec un caoutchouc de grès



Illustration 3.16 Polissage du granit avec un tour de cuir et de la boue

Les résultats expérimentaux du travail du granit indiquent que les anciens artisans auraient pu ciseler et poinçonner le granit rose à raison d'environ 15 cm³/heure, soit environ trois fois le taux expérimental. L'explication de cette disparité est liée aux conditions expérimentales. Premièrement, les éprouvettes de granit relativement petites ont rebondi lorsqu'elles ont été frappées avec le ciseau, et ce phénomène a neutralisé une partie du choc d'un coup. En conséquence, le bord d'un ciseau n'a pas pénétré à sa quantité maximale possible. A l'inverse, les gros blocs de granit, de par leur masse, favorisent la transmission du coup dans la pierre. Deuxièmement, les outils en silex nécessairement plus petits, et par conséquent les coups d'outils plus légers, employés sur ces morceaux de granit relativement petits. Au taux d'enlèvement de pierre ancienne prévu de 15 cm³/heure, une colonne de granit *n*biéroglyphe aurait pu être effacé en huit heures.

Le granit rose poli à l'ancienne, en raison de l'abondance de cristaux de quartz dans sa matrice, a une sensation de verre. Par conséquent, le polissage de l'échantillon de granit rose a été tenté de la manière dont le verre serait poli aujourd'hui, c'est-à-dire en arrondissant d'abord les minuscules rayures et piqûres faites par le milieu de meulage, dans ce cas des caoutchoucs de grès, puis en polissant avec un tour doux et coller. Le cuir a été utilisé comme tour de main pour les expériences; il peut avoir été utilisé dans les temps anciens. Les Égyptiens possédaient un matériau qui aurait pu être utilisé pour les premières étapes de polissage. Il s'agissait d'une poudre de sable/pierre/cuivre finement broyée, un déchet du forage tubulaire et du sciage de la pierre avec du sable abrasif. Le chapitre 4 étudiera plus en détail ce sous-produit et ses utilisations possibles pour l'artisan.

Le polissage préliminaire du granit rose consistait à mélanger une quantité des poudres de forage, le sous-produit mentionné ci-dessus, avec de la boue liquide, et à frotter

il sur la surface du granit avec le tour en cuir. Enfin, pour obtenir un cirage, seule la boue a été utilisée, toujours avec le cuir (figure 3.16). La boue aurait pu servir de moyen de polissage dans les temps anciens, car elle n'est pas sans rappeler le rouge de bijoutier, qui est utilisé pour polir le verre aujourd'hui. Une surface entièrement polie aurait coûté beaucoup de temps et d'énergie aux anciens artisans. Le test de polissage n'était pas complètement terminé et la durée totale de toutes les opérations de lissage et de polissage était de 80 minutes. Il a été noté que les fines particules d'argile remplissent adéquatement les exigences d'un agent de polissage, donnant une forme peu profonde et arrondie à des creux et des rainures nettement définis, qui présentent un aspect givré sur des surfaces non polies. En ce qui concerne l'ancien *nbsigne*, il est calculé qu'il faudrait ajouter 4 heures supplémentaires pour le polissage aux 8 heures déjà annoncées, soit un total de 12 heures au total (Figure 3.17).

Le rainurage dans le granit, mentionné précédemment, a été imité dans les spécimens de diorite et de granit rose avec un outil en silex possédant trois faces et trois arêtes. La taille expérimentale du silex a créé de nombreuses "trifaces" de tailles différentes. La pointe formée par les trois bords peut être enfoncée avec un maillet, et une rainure est en partie ébréchée et en partie meulée à partir de la surface de la pierre dure. Alternativement, le silex peut être saisi avec les mains et frotté vigoureusement le long de la pierre (Figure 3.18). La pointe peut être affûtée par percussion-écaillage de deux des bords. Alors que les ciseaux et les poinçons en silex, suivis des caoutchoucs de grès, produisaient efficacement des rainures dans le granit, cette technologie est incluse ici pour examen ; d'anciens artisans l'ont peut-être utilisé. La rainure expérimentale dans la diorite mesurait 5 cm



Illustration 3.17 Le fini *nbsigne* hiéroglyphe



Illustration 3.18 Une rainure expérimentale en granit rose, taillée avec un silex pointu "trifacial" outil

de longueur, 4 mm de largeur et 1 mm de profondeur. Dans le granit rose, la longueur des rainures était de 4 cm, la largeur de 3 mm et la profondeur de 1 mm. Le temps pris pour chaque rainure était d'environ 2 minutes.

Un autre test pour les ciseaux à silex, les poinçons et les grattoirs a été conçu. Une surface plane a été préparée sur un morceau de grès dur à grain fin. Un ciseau en bronze d'essai a été utilisé pour produire la surface, mais le bord du ciseau a été gravement endommagé. Le silex produit une surface plane dans une telle pierre à un rythme plus rapide. Le mot égyptien pour 'silex', le semi-idéogramme *dés*, signifiant 'pierre pointue', se compose de quatre signes ; ce sont les consonnes *ré* (main) et *s* (boulon), suivi des signes déterminants pour 'couteau' (pointu) et 'pierre'. Les quatre symboles, chacun mesurant en moyenne 2 cm de longueur et 1 mm de profondeur, ont été taillés dans le grès avec de petits ciseaux à silex, des poinçons et des grattoirs (figures 3.19, 3.20) en 20 minutes. Les planchers des enseignes avaient, au début, une surface piquée, causée par les outils pointus. Le grattage avec un microlithe en silex a complètement éradiqué les piqûres. Une pointe de cuivre ou de bronze assez petite pour avoir taillé ce type d'héroglyphe n'aurait pas résisté aux contraintes imposées au métal.

Petrie a été intrigué par la capacité de l'artisan à inciser, ou graver, des hiéroglyphes dans des fragments d'un bol en diorite de la quatrième dynastie qu'il a trouvé à Gizeh. Ces incisés



Illustration 3.19 Le hiéroglyphe pour 'silex' (dès), incisé dans du grès dur avec des ciseaux à silex et coups de poing



Illustration 3.20 Hiéroglyphes antiques incisés dans du grès dur

les lignes étaient $\frac{1}{150}$ pouce (0,17 mm) de large.⁴⁷ Petrie était convaincu que les lignes étaient pas grattés ou broyés, mais ont été labourés à travers la diorite, laissant des bords rugueux. Quatre matériaux ont été gravés expérimentalement avec un outil en silex tranchant. Il s'agissait de granit, de diorite, de cuivre et de bronze. Le granit et la diorite pourraient tous deux être gravés en tirant avec force l'outil sur les surfaces des matériaux. L'outil en silex pouvait être dirigé avec un bord droit, ou par l'usage libre de la main. Sous grossissement, les incisions correspondaient étroitement aux marques sur les fragments de diorite à Gizeh; les lignes ont des bords rugueux. Le test du cuivre et du bronze

les échantillons ont été marqués de la même manière par des coups énergiques de l'outil en silex. Chaque incision dans l'échantillon de cuivre est devenue en forme de V en coupe transversale, avec chaque bord surélevé au-dessus de la surface. Ces coupes expérimentales ressemblent étroitement à des incisions en forme de V affichées sur les surfaces de quatre rasoirs en cuivre du British Museum (6079-82), portant le nom d'Idy.

Selon Flinders Petrie, deux modèles de têtes de harpon en cuivre, provenant de la tombe de la deuxième dynastie de Khasekhemwy, ont été grossièrement découpés dans une feuille de cuivre.⁴⁸ La taille énergique avec des silex le long d'une ligne, jusqu'à ce que le cuivre soit complètement coupé, pourrait bien avoir été la technique employée par l'ancien artisan pour fabriquer ces modèles. HH Coghlan⁴⁹ des outils en silex testés sur une bande de cuivre de 3 mm d'épaisseur et de 13 mm de largeur, ainsi qu'une petite tige de cuivre de 3 mm de diamètre. Il a constaté qu'un ciseau à silex avait coupé la bande de cuivre en une minute, mais que le tranchant de la lame était légèrement entaillé. La tige a été coupée en trois à quatre secondes avec le même outil, sans endommager sérieusement son bord. Cependant, un outil en silex dentelé, utilisé par Coghlan comme scie sur la même tige de cuivre, a été rendu inutile dans les cinq minutes nécessaires pour couper le métal.⁵⁰ Les tests actuels indiquent que, bien qu'un ciseau à silex entraîné par un maillet coupe le cuivre, et on suppose que Coghlan a enfoncé son ciseau d'essai dans l'échantillon de métal, le marquage continu du métal en traçant une lame le long de la même ligne coupe efficacement le cuivre, sans endommager l'outil.⁵¹

L'utilisation expérimentale des couteaux, des ciseaux et des grattoirs en silex et en silex, pour l'écorçage et la taille des manches, a déjà été mentionnée. La sculpture complexe de tout type d'objet en bois bénéficie de l'utilisation d'outils en silex ou en chert, plutôt qu'avec des outils en métal, et leurs pointes et arêtes vives offrent un service prolongé sur tous les types de bois, comme avec le calcaire tendre.

Outils à conserver : outils à jeter

Les expériences avec les outils en silex suggèrent que ce matériau était largement utilisé pour travailler toutes les pierres dures employées par les anciens Égyptiens. Il est probable que les tailleurs de silex produisaient des outils pour travailler les pierres dures qui étaient distincts de la production d'outils en silex durables pour le travail de la pierre tendre et à d'autres fins. Cette industrie vitale de la taille du silex fabriquait des outils en silex délibérément conçus pour une courte durée de vie. En d'autres termes, les outils en silex pour le travail des pierres dures étaient des outils indispensables. Le terme moderne pour de tels outils est « jetable ».

Il a déjà été suggéré que des outils en silex étaient utilisés pour travailler le calcaire et le granit à Gizeh sous la IVe dynastie. En ce qui concerne le travail du calcaire tendre en blocs, l'emploi d'outils en silex pour le premier dégrossissage est judicieux. Pourquoi utiliser des outils métalliques coûteux pour cette partie de l'opération alors que des outils en pierre jetables et bon marché sont disponibles ? (Il est *ne pas* suggéré que les ciseaux métalliques étaient *ne pas* utilisés pour le travail d'ajustement final.) L'utilisation expérimentale d'outils en silex a produit un grand nombre de microlithes au fur et à mesure qu'ils se désintégraient lentement sous chaque impact sur la pierre dure. Pour cette raison, une recherche d'anciens ciseaux et poinçons en silex intacts qui ont été *absolument* utilisés pour façonner

la sculpture en pierre dure, les récipients et les éléments de construction ont peu de chances de réussir. De par leur nature même, les outils en silex finiraient par se fragmenter en morceaux de plus en plus petits et seraient incorporés dans les débris généraux des chantiers.

Bien que le cuivre, le bronze et le fer aient été d'une grande importance en tant que matériaux de fabrication d'outils pour les artisans égyptiens antiques, le travail expérimental des pierres ignées suggère que les outils en silex et en chert occupaient une place cruciale dans la gamme d'équipements des anciens ouvriers. En plus de la taille des hiéroglyphes dans la pierre dure, des outils en silex auraient été inestimables pour tailler de petits hiéroglyphes incisés dans des pierres plus tendres, comme la calcite, et cela est corroboré par les preuves archéologiques. Par exemple, l'incision expérimentale de lignes dans la calcite correspond étroitement aux hiéroglyphes inscrits dans la statue de calcite de Menkaure au Boston Museum of Fine Arts. De plus, des outils en silex étaient probablement utilisés pour la sculpture de colonnes en pierre dure et leurs chapiteaux compliqués, le déchiquetage de vaisseaux en pierre dure pour façonner,

Il est probable que l'utilisation du silex et du chert par les artisans ait suivi un schéma particulier. Il y a la fabrication d'outils elle-même - la création de formes et de leurs arêtes de coupe. Mais les matériaux travaillés eux-mêmes, qui se composaient de peaux d'animaux, de chair, de plantes, d'ivoire, de bois et, éventuellement, de pierres tendres et dures, ont modifié la conception des outils. Par exemple, la sculpture de petits objets en bois nécessitait des outils de conception différente de ceux des herminettes en silex utilisées si efficacement pour lisser les planches de bois et les surfaces en calcaire tendre. Les changements de développement des outils en silex étaient donc le résultat du travail de différents matériaux. Les outils en silex ont finalement pris des formes spéciales à des fins spécifiques. Par exemple, le grattoir s'est probablement transformé en burin en le conduisant avec un marteau ou un maillet, plutôt qu'en le faisant simplement fonctionner avec la main. La technique de grattage des pierres avec des outils en silex, évolution naturelle du grattage des peaux et du bois, était vitale pour les anciens ouvriers. (L'utilisation de caoutchoucs de grès sur la pierre est analogue à la manière dont les grattoirs en silex fonctionnent sur ce matériau. De nombreux cristaux de quartz pointus, exposés à la surface du caoutchouc de grès, grattent efficacement de minuscules particules de la surface d'une pierre. À ce niveau, cependant, ces minuscules quartz on dit que les grattoirs en cristal meulent la surface de la pierre.)

Pendant la longue occupation de diverses parties de l'Égypte, avant l'avènement d'un État unifié, le silex était utilisé à de nombreuses fins, dont certaines ont été mentionnées plus haut dans ce chapitre. C'est la nécessité de tailler des vaisseaux en pierre dure et de la statuaire à façonner (ciseaux et poinçons), et le creusement de vaisseaux en pierre tendre (perceurs à croissant), qui ont imposé de nouvelles utilisations du silex à l'ancien travailleur. L'emploi à grande échelle de la pierre pour la construction et la statuaire, et comme matériau pour la sculpture des reliefs et des hiéroglyphes, a nécessité une énorme augmentation de la production d'outils en silex. De nombreuses utilisations antérieures du silex sont également restées en place. L'utilisation test des outils en silex a démontré que ce matériau abondant possède les caractéristiques de dureté, d'acuité et de ténacité nécessaires pour travailler avec succès de nombreux matériaux différents. Pour toutes ces raisons, les outils en silex ont imprégné l'ensemble de la société égyptienne à tous les niveaux et à toutes les époques. En effet, il y avait toujours eu un silex pour toutes les saisons !

Remarques

- 1 Par exemple, un groupe de foreurs de chert utilisé pour creuser des récipients en gypse de la quatrième dynastie à Umm-es-Sawan dans le Fayoum. Un foreur en forme de huit et deux foreurs en forme de croissant (maintenant MM 8352-4) sont appelés «foreurs de silex taillé» sur la carte d'information. Caton-Thompson et Gardner qualifient également les outils de "silex" (G. Caton-Thompson et EW Gardner, *Le Fayoum du désert*, Londres : The Royal Anthropological Institute of Great Britain and Ireland, 1934, p. 105).
- 2 DA Stocks, 'Industrial technology at Kahun and Gurob: experimental manufacture and test of replica and reconstruit tools with specified uses and effects on artefact production', thèse non publiée, University of Manchester, 1988, vol. II, p. 246-73. WMF
- 3 Petrie, *Kahun, Gurob et Hawara*, Londres : Kegan Paul, Trench, Trübner, and Co., 1890, p. 34.
- 4 Par exemple, les illustrations de la XIIe dynastie de couteaux en silex à manche (WMF Petrie, *Outils et Armes*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1917, p. 23, pl. XXIV, K16-18). Ces couteaux sont vus dans une scène de boucherie dans la tombe de la sixième dynastie de Mereruka à Saqqarah (P. Duell (éd.) *Le mastaba de Mereruka*, Chicago: The University of Chicago Oriental Institute, 1938, vol. Je, pl. 54, vol. II, svp. 109A, 110).
- 5 Pétrie, *Outils et Armes*, p. 46, pl. LIII, S74, 75-7 (de Meidum), S75-7 (de Gizeh), S82-5 (de Beni Hasan) ; WMF Petrie, *Archéologie égyptienne*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1938, p. 30; WC Hayes, *Le Sceptre d'Égypte*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1953, vol. Je, p. 290, fig. 192.
- 6 H. sauvage, *Le Tombeau de Ti*, Le Caire : Government Press, vol. III, 1953, pl. 120-4, 133 ; N. de G. Davies, *Les tombes rupestres de Deir el Gebrâwi*, Londres : Egypt Exploration Fund, 1902, vol. II, pl. 16.
- 7 Pétrie, *Outils et Armes*, PL. LIII, S74, 75-7 ; MMA 15.3.832, de Lisht.
- 8 N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-RTM à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LX.
- 9 Pétrie, *Archéologie égyptienne*, p. 30.
- dix Idem.
- 11 Idem ; CC Edgar, 'Études de sculpteurs et travaux inachevés', *Catalogue Général des Antiquités Égyptiennes du Musée du Caire*, Le Caire : Imprimerie de l'Institut Français d'Archéologie Orientale, 1906, pv
- 12 Pétrie, *Archéologie égyptienne*, p. 30.
- 13 La taille expérimentale du silex a produit de nombreux éclats aux tranchants courbes.
- 14 J. Hill, "Histoire des pierres" de Théophraste, Londres : J. Hill, 1774, livres LXXII, LXXV.
- 15 Ibid., p. 177, 181.
- 16 R. Engelbach, *Le problème des obélisques*, Londres : T. Fisher Unwin, 1923, p. 40.
- 17 RF Tylecote, *Métallurgie en archéologie*, Londres : Edward Arnold, 1962, p. 244, tableau 80.
- 18 CE Pearson et JA Smythe, 'Examen d'un ciseau romain de Chesterholm', *Actes de la Société philosophique de l'Université de Durham* 9 (3), 1938, p. 141-5. Tylecote,
- 19 *Métallurgie en archéologie*, p. 244-5, fig. 63.
- 20 A. Bomann, « Wadi Abu Had/Wadi Dib », dans KA Bard (éd.) *Encyclopédie de la Archéologie de l'Égypte ancienne*, Londres et New York : Routledge, 1999, p. 861, 863 ; DA Stocks, « Méthodes romaines de travail de la pierre dans le désert oriental d'Égypte », dans NJ Higham (éd.) *Archéologie de l'Empire romain : un hommage à la vie et à l'œuvre du professeur Barri Jones*, Oxford : Archaeopress, 2001, p. 283-6. Bomann, 'Wadi Abu Had/Wadi Dib', p. 861.
- 21
- 22 A. Bomann et R. Young, 'Enquête préliminaire dans le Wadi Abu Had, Désert oriental, 1992', *JE* 80, 1994, p. 23-7, fig. 2.
- 23 R. Engelbach, 'Preuve de l'utilisation d'un pic de maçon dans l'Égypte ancienne', *ASA* ÉXXIX, 1929, p. 19-24.

- 24 Le ciseau à pierre, le mail pointu ou les marques de "pioche" doivent être vus dans les carrières datant de l'Antique et du Moyen Empire, du début du Nouvel Empire et de l'époque ramesside jusqu'à la trentième dynastie. Des traces d'outils similaires sont visibles dans les carrières de quartzite de Gebel el-Ahmar (D. Arnold, *Construire en Égypte : la maçonnerie de pierre pharaonique*, New York : Oxford University Press, 1991, p. 33, 40, fig. 2.7, 2.8, 2.9, 2.18, 2.19). Pour les carrières, voir J. Röder, 'Steinbruchgeschichte des Rosengranits von Assuan', *Archäologischer Anzeiger* 3, 1965, p. 461-551 ; D. Klemm et R. Klemm, *Die Steine der Pharaonen*, Munich : Staatliche Sammlung Ägyptischer Kunst, 1981 ; JA Harrell et VM Brown, *Relevé topographique et pétrologique des carrières de l'Égypte ancienne*, Tolède, OH : Université de Tolède, 1995.
- 25 Edgar, « Études de sculpteurs et œuvres inachevées », pp. i-viii ; A. Lucas et JR Harris, *Matériaux et industries de l'Égypte ancienne*, Londres : Edward Arnold, 1962, p. 68.
- 26 Stocks, 'Technologie industrielle', vol. I, p. 87-8.
- 27 Davies, *Rekhmiré*, vol. I, p. 58-9, vol. II, pl. LX.
- 28 Ibid., vol. I, p. 58-9, vol. II, pl. LX. Les outils en silex utilisés pour l'extraction et la découpe de tombes rocheuses sont connus (MHW Seton Karr, 'Comment les galeries funéraires de Thèbes ont été taillées et le calcaire extrait', *ASAÉVI*, 1905, p. 176-84).
- 29 WMF Petrie, *Les pyramides et les temples de Gizeh*, Londres : Champ et Tuer, 1883, p. 213.
- 30 Arnold, *Construire en Égypte*, p. 48.
- 31 Par exemple, Petrie, *Outils et Armes*, p. 43, pl. LXXVIII, montrant une partie d'un groupe de vingt-trois outils en fer datés du VII^e siècle avant J.C, comprenant des scies, des mèches pour percer le bois, des ciseaux, un poinçon, une râpe et une lime, tous de Thèbes, Haute-Égypte.
- 32 A. Zuber, 'Techniques du travail des pierres dures dans l'Antique Égypte', *Techniques et Civilisations* 30, 1956, p. 195-215. Engelbach, *Le problème*, p. 40.
- 33
- 34 DA Stocks, « Le travail du bois et de la pierre dans l'Égypte ancienne : l'expérimentation manufacture and use of copper, bronze and stone tools », thèse non publiée, Université de Manchester, 1982, pp. 164-97 ; Stocks, 'Technologie industrielle', vol. II, p. 246-73.
- 35 DA Stocks, « Test des méthodes de travail du granit de l'Égypte ancienne à Assouan, Égypte', *Antiquité* 75, 2001, p. 93.
- 36 Vases en gypse de l'Antique Empire (Moes 2) étaient percés de chert en forme de croissant, probablement pas silex, foreurs à Umm-es-Sawan dans le Fayoum (Caton-Thompson et Gardner, *Le Fayoum du désert*, p. 105). Il est probable que des croissants de silex ou de chert aient été enfoncés avec l'arbre en bois fourchu inversé du foret hélicoïdal hélicoïdal inversé, qui était attaché à l'arbre de forage principal. Voir le chapitre 5.
- 37 W. Berger, *Le silex : son origine, ses propriétés et ses utilisations*, Londres : Faber, 1972. Stocks, « Test des méthodes de travail du granit de l'Égypte ancienne à Assouan, Haute-Égypte », pp. 93-4.
- 39 R. Saïd, *L'évolution géologique du Nil*, New York : Springer-Verlag, 1981.
- 40 GE Carnarvon et H. Carter, *Explorations de cinq ans à Thèbes*, Londres : Égypte Société d'exploration, 1912, p. dix.
- 41 N.Jenkins, *La barque sous la pyramide*, Londres : Thames et Hudson, 1980, p. 81, pl. 55.
- 42 E. Naville, 'Fouilles à Henassieh (Hanes)', *Rapport spécial supplémentaire du Fonds d'exploration de l'Égypte*, 1891, p. 8, 9.
- 43 Stocks, 'Technologie industrielle', vol. II, p. 246-73.
- 44 Comparer CM JE33303 (marques plus grandes), JE33301 (marques plus petites) et JE33304 (marques plus petites encore) (Edgar, 'Sculptors' studies and inachevés', pl. I).
- 45 Zuber, « Techniques du travail des pierres dures dans l'Antique Égypte », p. 180, figures. 18-20.

- 46 Stocks, «Test des méthodes de travail du granit de l'Égypte ancienne à Assouan, en Haute-Égypte», pp. 93-4.
- 47 Pétrie, *Pyramides*, p. 173.
- 48 Pétrie, *Outils et Armes*, p. 37, pl. XLIV, V36, 37.
- 49 HH Coghlan, *Notes sur la métallurgie préhistorique du cuivre et du bronze dans l'Ancien Monde*, Oxford : Oxford University Press, 1951, p. 81-2.
- 50 Ibid., p. 82.
- 51 Stocks, 'Technologie industrielle', vol. II, p. 269.

[*http://www.facebook.com/per.medjat*](http://www.facebook.com/per.medjat)

[*http://www.facebook.com/groups/per.medjat*](http://www.facebook.com/groups/per.medjat)

Partie II

GRANDS PRÊTRES DE
INDUSTRIE

L'influence de l'État sur la technologie

[*http://www.facebook.com/per.medjat*](http://www.facebook.com/per.medjat)

[*http://www.facebook.com/groups/per.medjat*](http://www.facebook.com/groups/per.medjat)

4

L'ABRASIVE TECHNOLOGIES

Connexions flore et technologie

Le travail de la pierre avec des ciseaux et des herminettes en cuivre, avec des ciseaux en silex, des poinçons, des grattoirs et des herminettes, ainsi qu'avec des meules et des marteaux en pierre n'a fourni qu'une partie de la capacité de l'artisan à façonner tous les types d'objets anciens en pierre. Afin de permettre aux anciens artisans égyptiens de créer la gamme d'objets qu'on leur demandait pendant les périodes prédynastique tardive et dynastique, d'autres technologies devaient être développées. Souvent, la technologie moderne évolue à partir de techniques et de matériaux antérieurs, et il est probable que de tels développements fondamentaux se soient également produits dans l'Égypte ancienne. Ainsi, deux outils importants pour couper les pierres ont été ajoutés à la trousse à outils de l'artisan, et il s'agissait de la perceuse tubulaire en cuivre à bout plat et de la scie en cuivre à tranchant plat, toutes deux utilisées avec un abrasif particulière. Le foret tubulaire est antérieur à l'invention de la scie à pierre, qui doit probablement son développement à l'introduction de la pierre dure pour l'architecture au début des périodes dynastiques et de l'Ancien Empire. La scie à pierre est un développement direct de la scie à bois dentelée, elle-même une évolution du couteau et de la faucille en silex dentelés. Aucun exemple de tubes et de scies à tailler la pierre en cuivre n'a survécu jusqu'à nos jours, et aucune représentation funéraire n'a été trouvée.

Dans l'Égypte ancienne, les gens étaient influencés par les plantes qui poussaient autour d'eux. Le fait que certaines formes végétales aient été copiées dans la pierre à des fins architecturales a déjà été mentionné : les anciens constructeurs égyptiens ont copié la fleur de la plante de lotus, en bouton ou complètement ouverte, et les feuilles de palmiers comme idées de conception lors de la création de chapiteaux de colonnes en pierre. Une plante indigène particulièrement importante était le roseau commun. Un autre roseau, *Arundo donax* (Le roseau espagnol), poussant également en Égypte, n'était pas utilisé dans la même mesure que le roseau commun. Ce roseau poussait le long du Nil en grande abondance et était utilisé pour les stylos, les flèches et les petits meubles. Les feuilles étaient utilisées pour fabriquer des nattes de couchage et les rhizomes à des fins médicinales.¹

Le roseau commun pousse généralement dans des conditions marécageuses, où il peut atteindre 5 mètres de hauteur ; il est beaucoup plus court dans les endroits plus secs. Les grands roseaux ont un diamètre de plusieurs centimètres et leurs tiges sont ligneuses et fortes. La tige mince et droite de la famille des graminées est creuse sur toute sa longueur, sauf au niveau des articulations des feuilles

(noeuds) qui se produisent tous les quelques centimètres ; ces minces cloisons internes à joints de feuilles bloquent complètement le diamètre du tube. Les cloisons rendent la tige résistante au vent. Ils peuvent être enlevés, comme décrit précédemment au chapitre 2, en les perçant avec un roseau plus fin aiguisé, bien que cela ne soit pas nécessaire pour la fabrication d'un tube utilisé comme perceuse. À condition que la section creuse sélectionnée de l'anche soit laissée suffisamment longue pour être engagée par une corde d'arc, ou puisse être tordue dans le sens des aiguilles d'une montre et dans le sens inverse des aiguilles d'une montre avec la main, elle répond aux exigences d'une perceuse. Le foret tubulaire produit une fente de forme tubulaire, qui entoure un noyau central ; cette technologie permet l'enlèvement d'une petite quantité de pierre par forage, mais permet d'obtenir le trou de taille normale lors de l'enlèvement de la carotte (figure 4.1). *sécher* abrasif particulière à leurs extrémités coupantes.

L'introduction de longs cylindres creux, ou tubes, a grandement influencé la capacité technique humaine. En brisant les cloisons foliaires d'une tige de roseau, voire d'une canne de bambou ou de toute autre tige similaire, joignant ainsi les sections creuses existantes pour créer un tube continu, l'ancien ouvrier fabriquait un artefact radicalement nouveau. Aujourd'hui, les tubes sont fabriqués à partir d'une variété de matériaux, notamment le cuivre, le laiton, l'aluminium, l'acier doux et inoxydable et le plastique. Les tubes, ou tuyaux, sont utilisés à de nombreuses fins, telles que l'acheminement de l'eau, du gaz et du pétrole vers leurs destinations, ainsi que pour les échafaudages et les deltaplanes. La canne modifiée, où qu'elle se soit produite pour la première fois, doit être l'ancêtre de tous les longs tubes.

L'impulsion pour un changement important dans la technologie de fabrication est née avec la production de récipients en pierre dure et tendre. Pendant les périodes Badarian et Nagada I, les vaisseaux en pierre dure, comme ceux en basalte, étaient laborieusement



Figure 4.1 Un grand trou de forage dans un bloc de granit rose à Karnak, créé en forant d'abord avec un tube possédant une épaisseur de paroi d'environ 3 mm, puis en cassant le noyau

creusé par meulage avec des foreurs de pierre tenus à la main ; les foreurs de grès, de grossièreté variable, peuvent être utilisés sans substance abrasive, mais d'autres foreurs de pierre ont probablement été utilisés en conjonction avec du sable du désert. Des foreurs et des grattoirs à main en silex étaient utilisés pour les pierres tendres, telles que le calcaire tendre et le gypse, sans l'aide d'un matériau abrasif. Il est probable que ces outils, ainsi que les foreurs pour pierres dures, aient été continuellement tordus et inversés pendant leur fonctionnement. Le mouvement de torsion/torsion inverse, une fonction de l'avant-bras et du poignet, est une capacité de conduite d'outil importante. Ces techniques sont entièrement explorées au chapitre 5.

Quelque temps après le début de la fabrication de vases en pierre, et avant ca. 3600 avant J.C, lorsque la coulée d'objets en cuivre s'est établie, les ouvriers ont probablement utilisé le roseau commun comme foret tubulaire pour creuser initialement l'intérieur des récipients en pierre fabriqués à partir de calcaire dur et de calcite : cette technique raccourcit considérablement le temps nécessaire pour creuser complètement l'intérieur de la pierre. Il est probable que le roseau commun ait servi de modèle pour les copies en cuivre Nagada II, qui ont pu percer des pierres beaucoup plus dures que le tube de roseau. Des fentes tubulaires dans divers artefacts en pierre de la date dynastique, et qui ont été fabriquées avec des forets tubulaires en cuivre (les preuves de forets tubulaires en métal seront examinées sous peu), ainsi que l'augmentation rapide de la fabrication de récipients en pierre dure et tendre après ca. 3600 avant J.C, suggèrent que l'idée d'un tube en cuivre pourrait provenir d'une forme que l'artisan avait déjà vue et utilisée - le roseau en forme de tube. Le chaudronnier égyptien savait fabriquer des tubes de cuivre durant la période Nagada II, ce que confirme une perle tubulaire en cuivre (UC 5066), retrouvée dans une tombe à Nagada.

Le roseau était probablement utilisé ailleurs pour la fabrication de vases en pierre. En effet, il est probable que le roseau commun, trouvé en abondance près des fleuves Tigre et Euphrate, ait été utilisé comme perceuse pour creuser certains des premiers vaisseaux de pierre de l'ancienne Mésopotamie, avant l'introduction des tubes de cuivre là-bas. Pierre Warren suggère que des roseaux ont été utilisés pour percer des vases en pierre en Crète minoenne, qui utilisaient du sable de quartz comme matériau abrasif. Warren mentionne également une poudre bleue/grise adhérent aux noyaux, qui a été analysée comme de l'émeri. Warren n'a pas favorisé les tubes de forage métalliques pour le travail de la pierre en Crète minoenne, car ils étaient absents, comme les égyptiens, des archives archéologiques. Joseph Shaw a également rejeté les forets métalliques minoens et a suggéré que les tubes de roseau tournaient sur du sable ou de l'émeri, qui était lubrifié avec de l'eau ou de l'huile.

Abrasifs et métaux utilisés pour le sciage et perçage tubulaire de la pierre

Avant que tout sciage expérimental et forage tubulaire puisse commencer, le matériau abrasif particulière le plus probable utilisé par les anciens travailleurs devait être établi. L'émeri et le sable du désert ont fait l'objet de nombreuses discussions par les égyptologues et d'autres. Dans cette étude, les preuves archéologiques et environnementales, ainsi que les résultats de ces expériences, et ceux des autres

expérimentateurs, ont été évalués collectivement. Les présentes expériences ont examiné et évalué les performances de l'abrasif de sciage et de forage probable dans des conditions de travail, et ont comparé les résultats avec les anciennes preuves de sciage et de forage observées.

Les preuves archéologiques des abrasifs sont inextricablement liées aux preuves des scies à tailler les pierres en cuivre et des perceuses tubulaires et, par conséquent, les deux questions doivent être étudiées ensemble. L'utilisation ancienne des scies et des perceuses tubulaires sur la pierre en Égypte a été reconnue et enregistrée pour la première fois par WMF Petrie. Au début des années 1880, il a examiné les marques de scie sur le pavé de basalte du côté est de la pyramide de Khéops de la IV^e dynastie à Gizeh, et a également enquêté sur des marques de scie sur les sarcophages en granit rose de Khufu et Khafre. Sur le sarcophage de Khufu, Petrie a remarqué que des stries droites et parallèles couraient horizontalement le long des côtés. Il a déclaré qu'une scie d'environ 9 pieds^{di} (2,7 m) de longueur a été utilisée pour couper le granit en forme, en tenant compte de la course de l'outil. La course normale d'une scie est d'environ 30 cm, ce qui est similaire à la distance parcourue par un arbre en arc lors de la rotation d'une perceuse tubulaire : ceci est, bien sûr, directement lié au mouvement alternatif (de va-et-vient) de la main, une fonction de mouvement du bras au niveau des articulations du coude et de l'épaule. Petrie a localisé des fentes de scie dans des objets en pierre, et celles-ci ont montré que les épaisseurs de scie variaient de 0,03 à 0,2 pouce¹¹ (1–5mm). Des scies à tailler la pierre étaient également utilisées sur le sarcophage de calcite de la troisième dynastie de Sekhemkhet,¹² sur le dos d'une des triades de Menkaure,¹³ et sur des blocs de pierre du complexe pyramidal de Nyuserre de la Cinquième Dynastie.¹⁴ Afin de façonner grossièrement la statuaire, des déchets étaient souvent sciés dans les blocs de pierre.¹⁵

Un exemple particulièrement important de sciage dans le granit rose sont deux fentes de scie striées et inclinées, formant un chevron, sur le sarcophage inachevé de Hordjedef de la IV^e dynastie au musée du Caire (JE54938). Les scieurs tentaient de couper une section du fond du sarcophage pour en faire un couvercle : le sarcophage déjà creusé n'a jamais été correctement achevé après que les artisans ont malheureusement cassé le couvercle après avoir scié la moitié de la pierre. Les fentes ont une largeur de 5 mm à leur base, mais se rétrécissent vers l'extérieur jusqu'à une largeur de 2 cm à leur sommet; le fond de chaque fente n'est pas plat, mais incurvé latéralement. (Les dernières expériences de sciage d'Assouan ont montré que ces deux phénomènes sont une conséquence de l'action de sciage.) Après que des coupes en chevron antérieures dans ce couvercle se soient rencontrées à un sommet sur la ligne médiane, la scie a été utilisée pour couper presque jusqu'aux bords extérieurs des deux fentes de scie d'origine. De nouvelles stries, provoquées par la dernière opération de sciage, se superposent aux stries créées par les coupes en chevron. Chacune des trois coupes était plus courte que la largeur totale du bloc, nécessitant beaucoup moins d'effort que le sciage sur toute la largeur en une seule opération. Les premiers ouvriers utilisaient une méthode similaire pour scier le sarcophage de Sekhemkhet, qui porte des marques en forme de chevron sur une surface extérieure.¹⁶

Au verso de la triade de basalte de la IV^e dynastie de Menkaure (CM JE46499), il y a des stries droites, horizontales et parallèles, qui ressemblent à des marques de scie. Dans cette pierre dure, ces stries ont été causées par le côté d'une scie forçant une substance abrasive particulière contre les parois de la fente au fur et à mesure que la coupe progressait. Certains

les stries sont plus larges et plus profondes que les autres, et celles-ci peuvent s'expliquer par des particules abrasives plus grosses frottant le long de stries particulières. Toutes les marques de scie observées sur les artefacts en pierre égyptiens présentent des stries parallèles d'une profondeur et d'une largeur moyennes de 0,25 mm. Bien que la scie soit un outil alternatif, la perceuse tubulaire peut être considérée comme faisant partie d'une lame de scie, mais incurvée en un cylindre creux.

WMF Petrie¹⁷ et GA Reisner^{18a} enregistré que les douilles de pivot de porte dans les temples de granit de la quatrième dynastie de Khafre et Menkaure avaient été créées avec des forets tubulaires. Les orbites et autres parties de la statuaire en pierre étaient également percées de tubes.¹⁹ Des noyaux de pierre, qui indiquent toujours l'utilisation d'une foreuse tubulaire, ont été localisés par divers archéologues, notamment Petrie.²⁰ Les trous anciens dans la pierre et sur les noyaux de pierre ont des stries concentriques autour de leur circonférence, qui sont horizontales par rapport aux axes verticaux des trous et des noyaux (par exemple UC 18071, un vase en calcite de la collection Petrie), et ces stries sont, comme les stries en fente de scie, d'une largeur et d'une profondeur moyennes de 0,25 mm. En particulier, un noyau conique de granit rouge Petrie trouvé à Gizeh (UC 16036) a une strie continue qui tourne en spirale pendant plusieurs rotations autour de sa circonférence. Petrie a remarqué que les stries traversaient le feldspath plus mou et les cristaux de quartz plus durs du granite sans aucune variation de profondeur.²¹ Il a rejeté une poudre de coupe en vrac et a pensé que c'était une bonne preuve pour indiquer l'utilisation de dents ornées de bijoux, qui étaient placées dans des tubes de cuivre ainsi que dans des lames de scie en cuivre.²²

Des perceuses tubulaires, entraînées par un arc, ont été employées pour percer l'intérieur des sarcophages en calcite, granit et autres pierres dures, mais une analyse détaillée de la fabrication des sarcophages est réservée au chapitre 6. La perceuse tubulaire en cuivre à arc a certainement été utilisée pour forer les trous effilés des longues anses tubulaires sculptées sur les récipients en pierre de la période Nagada II : les expériences ont révélé que *seulement* les tubes entraînés par l'arc produisaient des trous et des noyaux coniques. De bons exemples de ces récipients avec des poignées à pattes percées sont le bol Hathor de la collection Petrie (UC 16245) et un vase en syénite du musée de Manchester (1776). Chacune des deux anses de ce navire a été percée à chaque extrémité, les trous effilés se rejoignant au milieu: ils ont des stries en eux, également horizontales par rapport à leurs axes verticaux. De même, quatre trous coniques, percés dans le couvercle du sarcophage en granit rose du prince Akhet-Hotep (Brooklyn Museum of Art 48.110) possèdent ces stries. Chaque trou mesure 31 cm de long et se rétrécit d'un diamètre maximum moyen de 5 cm à un diamètre minimum moyen de 4,5 cm (voir Figure 6.2). Ils servaient probablement à soulever le couvercle avec des cordes épaisses. Il existe des preuves solides que des tubes ont été utilisés pour percer un ou plusieurs trous dans des récipients en pierre, et pour faire des fentes dans des artefacts en pierre. Par exemple, huit marques de forme tubulaire, laissées après le retrait des noyaux, sont visibles dans un vase en porphyre inachevé du Musée du Caire (JE18758).

Les mesures de Petrie des trous faits par les forets tubulaires ont montré que l'épaisseur des fentes tubulaires variait de $\frac{1}{2}$ pouce (1-5 mm), similaire aux épaisseurs de scie. Petrie a également déclaré que les perceuses tubulaires variaient de $\frac{1}{2}$ pouce à près de 5 pouces de diamètre²⁴ (environ 6 mm à 12 cm); il est probable que les tubes de forage de 6 mm de diamètre possédaient des parois de 1 mm d'épaisseur et que les épaisseurs de paroi ont légèrement augmenté

avec des tubes de plus gros diamètre. Un petit tube de forage, d'environ 8 mm de diamètre, avec une paroi de 1 mm d'épaisseur, a été utilisé pour percer un vase en calcite de l'Ancien Empire non catalogué de la collection Petrie. Le noyau à côtés parallèles ininterrompu mesure environ 6 mm de diamètre et 5 cm de long, et il reste dans un trou à côtés parallèles d'environ 8 mm de diamètre et 7,5 cm de profondeur. Un arc n'a donc pas été utilisé pour entraîner le tube de forage. Des tubes de forage beaucoup plus grands étaient possibles, illustrés par un certain nombre de fentes de 45 cm de diamètre, utilisées pour habiller une plate-forme calcaire située devant certaines tombes de la XIIIe dynastie à Deir el-Bersheh.²⁵ Les scies à bois et les perceuses à bois étaient en cuivre, mais quelles preuves y a-t-il pour indiquer que ce matériau était utilisé pour les scies à pierre et les perceuses tubulaires ?

A Gizeh, Petrie²⁶ remarqua des taches vertes sur les côtés de certaines coupes à la scie de la quatrième dynastie dans la pierre, qu'il attribua au bronze, mais il était plus probable qu'il s'agissait de cuivre sous la quatrième dynastie. Des grains de sable, également tachés de vert, ont été trouvés dans une coupe à la scie à Gizeh par Petrie.²⁷ Dans un morceau de basalte, du trottoir du côté est de la Grande Pyramide, Petrie a remarqué une coupe à la scie avec la poussière de sciage et le sable qui y restaient.²⁸ Des marques de forage tubulaires existent sur un bloc de pierre du complexe de la cinquième dynastie de Niousserré, qui porte des traces de vert-de-gris laissées par l'utilisation d'un tube de forage en cuivre.²⁹

Alfred Lucas a examiné un trou fait par un foret tubulaire dans un fragment d'albâtre (CM JE65402), de la date de la troisième dynastie, de la pyramide à degrés de Saqqarah. Dans le trou, il y avait une masse compacte de ce qui était presque certainement la poudre abrasive d'une couleur vert clair. La poudre était constituée de grains naturellement arrondis et très fins de sable de quartz et la couleur était due à un composé de cuivre, évidemment du foret utilisé.³⁰

Toujours à Saqqara, Lucas a examiné une grande carotte de forage d'environ 8 cm de diamètre, de granit rouge à gros grains avec des taches vertes à l'extérieur du cuivre de la foreuse.³¹ GA Reisner³² trouva une fine poudre granuleuse, teintée de vert, dans des trous faits par une perceuse tubulaire dans deux artefacts en pierre inachevés de la quatrième dynastie. Dans un trou percé par un tube dans un montant de porte en granit de Ramsès II (MMA 13.183.2) se trouvent de minuscules particules de bronze. Le trou mesure 7,5 cm de diamètre et 10,3 cm de profondeur. La souche d'une carotte laissée dans le trou montre qu'un tube a été utilisé pour le forer, et les particules indiquent qu'elle était en bronze ; il est probable que les tubes en bronze ont finalement remplacé ceux en cuivre. Il est intéressant de noter que les forets tubulaires en acier trempé, avec des dentelures à leurs extrémités coupantes, sont encore utilisés aujourd'hui pour faire de grands trous dans le bois et les feuilles de plastique.

La découverte de fines particules de sable, teintées de vert, est une bonne preuve pour indiquer que les coupes à la scie et les trous tubulaires dans les artefacts en pierre dure et plus tendre ont été faits avec des scies en cuivre ou en bronze et des forets tubulaires utilisant un abrasif de sable du désert sur leurs bords tranchants. (Remarque : lorsqu'il est exposé à l'air, la couleur rose saumon du nouveau cuivre devient d'un rouge plus profond, puis d'un brun rougeâtre, suivi d'une fine couche d'oxyde qui devient progressivement verte, en raison de la formation d'un carbonate de cuivre.) Lucas pensait que le l'abrasif aurait dû être un produit local, et était généralement du sable de quartz finement broyé, utilisé humide, et que de grandes quantités d'abrasif devaient avoir été consommées. Cyrille Aldred³³ et JH Poirine³⁴ également

soutenu l'utilisation de sable abrasif pour couper la pierre dure. Lucas a rejeté l'utilisation de l'émeri, une variété impure de corindon, car il n'y a aucune preuve de sa présence en Égypte. Il a également rejeté la théorie de Petrie selon laquelle, pour le forage et le sciage des pierres dures, des pointes de bijoux étaient placées dans des tubes de cuivre et des scies. Petrie n'était pas disposé à accepter que le sable puisse couper le granit, déclarant que pour couper l'albâtre mou, le sable ordinaire était amplement dur, et que là où des vases d'albâtre avaient été coupés, des premières dynasties à Hiérakonpolis et de l'époque grecque à Memphis, de grandes quantités de sable et de poussière d'albâtre avaient été trouvés.³⁵ E Quibell et FW Green³⁶ ont trouvé du sable qui avait été utilisé comme matériau abrasif dans l'atelier d'un broyeur de vase à Hiérakonpolis ; ils ont daté cet atelier de la période de l'Ancien Empire.

Pline, l'historien romain, a déclaré:

La coupe du marbre s'effectue apparemment par du fer, mais en réalité par du sable, car la scie ne fait que presser le sable sur une ligne très finement tracée, et alors le passage de l'instrument, en raison du mouvement rapide de va-et-vient, est en soi suffisant pour tailler la pierre.³⁷

L'utilisation expérimentale de scies à tranchant plat en cuivre et en bronze indique que Pline aurait pu être témoin du processus, mais on ne sait pas s'il écrivait sur les pratiques égyptiennes de sciage de pierre. Cependant, il semble probable que les scies en fer à tranchant plat ont finalement remplacé les anciens outils égyptiens en cuivre et en bronze, car ce matériau est devenu plus utilisé après la vingt-sixième dynastie. Certains tests ont été effectués avec une scie à lame plate en acier doux (similaire aux caractéristiques du fer forgé) pour établir ses capacités de coupe. Bien que la dureté du marbre soit de Mohs 4-5, et pas aussi dure que le granit, les tests montrent que les anciens artisans égyptiens *nécessairement* sciaient des pierres au-dessus de la dureté de Mohs 3 avec une scie à cuivre à tranchant plat en utilisant du sable comme abrasif.³⁸

Le milieu sablonneux en Égypte : effets sur activité humaine

À première vue, le sable de quartz (figure 4.2) est une nuisance pour toute forme de vie civilisée. Dans l'Égypte ancienne, comme aujourd'hui, il y avait de grandes quantités de sable sec se déplaçant en réponse à la pression du vent. Les anciens Égyptiens souffraient de plusieurs maux causés par le sable, y compris une usure sévère de leurs dents, causée par du pain contaminé par le sable, et des maladies oculaires et pulmonaires attribuables à la fine poussière soulevée par le sable soufflé par le vent. Les anciens Égyptiens auraient remarqué que le sable soufflé par le vent érode la pierre, et bien que les Égyptiens souffraient des effets du sable sur leur bien-être physique, l'artisan pouvait utiliser le sable de quartz à plusieurs fins.

Quelles sont les propriétés du sable du désert remarquées par les anciens ouvriers ? Le sable du désert est presque toujours complètement sec. Pour un ancien Égyptien, la plus grande partie de l'environnement était constituée de sable sec et inhospitalier, et d'un ancien artisan.

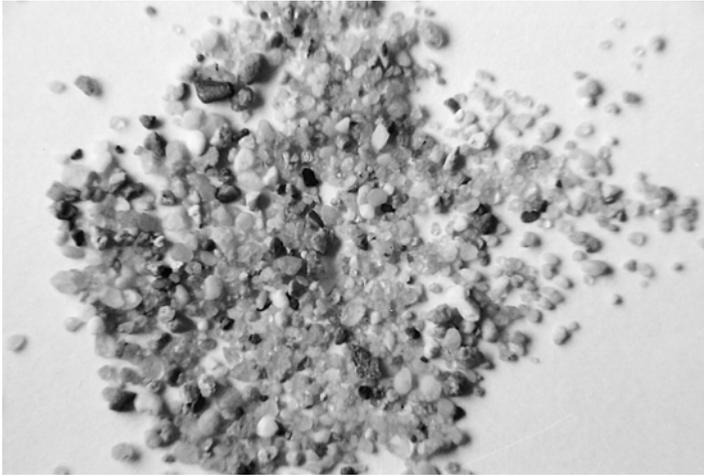


Figure 4.2 Cristaux de quartz dans le sable

la perception de cet environnement désertique et ses utilisations suggérées pour la technologie ont dû être profondément affectées par ses caractéristiques lorsqu'il était dans un état complètement sec.

Le sable sec s'écoule sous l'effet de la pression et de la gravité jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. En fait, il agit un peu comme un fluide. (Le sable très humide coulera, mais les expériences rejettent fermement l'humidité, *grossiers* sable comme abrasif pour les scies et les tubes de forage.) Un exemple simple combinant ces deux phénomènes est la manière dont un pied humain, avec une charge assez élevée sur une zone relativement petite, fait d'abord couler le sable vers l'extérieur, mais après que le poids a enlevé, il reflue dans la dépression laissée par le pied ; la forme du pied n'est pas délimitée, mais un creux allongé est formé. Cette propriété d'écoulement du sable sec est d'une importance considérable pour le sciage et le forage tubulaire de la pierre.

Un exemple graphique de la façon dont le sable sec s'écoule sous pression a été démontré par Rick Brown et NOVA/WGBH Boston³⁹ dans une carrière de granit située à environ 25 miles au nord-ouest de Boston, Massachusetts. Brown a construit une très grande boîte en blocs de béton et l'a complètement remplie de sable sec. Un obélisque de granit de 25 tonnes, placé horizontalement sur le sable, mais en partie sur une rampe adjacente, a lentement forcé le sable à s'écouler de deux ouvertures pratiquées dans la base de la boîte, provoquant la rotation de l'obélisque et sa descente en douceur sur un piédestal. . Des cordes de freinage ont empêché une descente incontrôlée de l'obélisque.

Les cristaux de quartz dans le sable ont causé de graves dommages aux dents des anciens Égyptiens. Frank Leek a examiné les dents de l'Égypte ancienne. Il a constaté que les dents étaient très usées et aplaties, en grande partie à cause de la consommation de pain fortement contaminé par des fragments de quartz provenant de sable soufflé par le vent.⁴⁰

Il est raisonnable de supposer que des cristaux de sable soufflés par le vent étaient présents dans le pain égyptien avant l'introduction de la technologie de forage tubulaire. Les premiers artisans égyptiens ont peut-être reconnu que l'érosion de leurs dents dures

a été causé en les broyant ensemble sur des fragments de sable, et cela pourrait avoir été un facteur qui a influencé l'introduction du sable comme abrasif pour meuler la pierre avec des outils.

Le manque d'émeri en Égypte, l'existence de sable du désert en grande quantité, l'impossibilité de monter des pointes ornées de pierres précieuses dans des scies et des tubes de forage en cuivre, la découverte de poudres de sable mélangées à des composés de cuivre associés aux activités de sciage et de forage tubulaire dans les secteurs tendre et doux. pierres dures, et les preuves expérimentales actuelles, qui montrent que le sable broie des pierres très dures, y compris des variétés ignées, indiquent clairement que le sable est la principale source d'abrasif utilisé avec les scies à cuivre et les forets tubulaires. Les artisans ont pu fournir des tubes et des scies à dents coupantes par millions, et le coût pour l'État n'était que la corvée de la collecte. L'utilisation réelle du sable pour le broyage a cependant causé des dommages considérables à la santé des artisans.

Percer des pierres avec des tubes de roseau

Essais expérimentaux⁴¹ ont été réalisés sur les pierres suivantes : calcaire tendre et dur, calcite, grès dur (à gros grains), grès dur (à grains fins) et granit bleu (à grains fins). Tous les tests ont été effectués à Manchester, à l'exception du test sur le grès à grain fin, qui a eu lieu à Assouan, en Haute-Égypte.

Chaque test a utilisé un tube de roseau de 1 cm de diamètre, qui possédait des parois de 2 mm d'épaisseur. Le tube était arrondi au sommet, pour la pierre de faïte, et chassé avec un arc (figure 4.3) ; une charge d'environ 1 kg/cm² a été appliqué sur le tube. Le

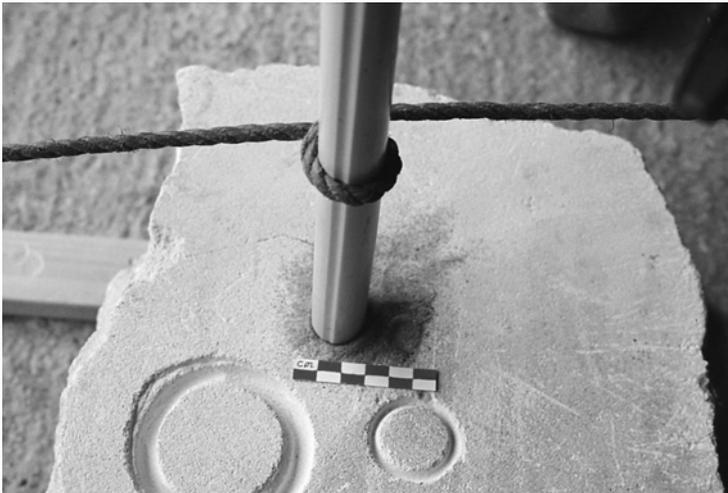


Figure 4.3 Essai de forage de calcaire tendre, avec un tube de roseau entraîné par un arc et un abrasif de sable sec

Tableau 4.1 Rapports et taux de coupe des tubes Reed

Type de pierre	Rapports des taux d'usure roseau : pierre		Taux de coupe (cm ³ /heure)	
	sec	humide	Taux de coupe (cm ³ /heure)	
			sécher	mouiller
calcaire tendre	1 : 3	1 : 1,5	12	12
gypse	1 : 3	1 : 1,5	12	12
stéatite	1 : 3	1 : 1,5	12	12
calcaire dur	1 : 2	2 : 1	8	4
calcite	1 : 2	2 : 1	8	4
grès dur :				
à gros grains	-	-	-	-
grain fin	1 : 2	-	8	-
granit	-	-	-	-

les tubes de forage ont été testés avec du sable abrasif sec et humide. La surcoupe des trous, due au mouvement latéral imposé par la pousse, a été prise en compte lors du calcul des taux de coupe pour chaque tube de forage. Par conséquent, la *volumétrie* de la tige de roseau usée d'un tube et la pierre forée ont été utilisées pour obtenir un rapport entre les deux matériaux, plutôt que de mesurer la longueur perdue d'un tube et la profondeur accrue d'un trou. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.1. L'abrasif de sable sec a provoqué des éclats dans le tube et la tige s'est légèrement écartée vers l'extérieur. Cependant, la foreuse a conservé sa forme tubulaire et a foré efficacement le calcaire tendre et dur et les échantillons de calcite.

Le tube de forage en roseau utilisé avec un abrasif de sable humide s'est rapidement ramolli et s'est répandu vers l'extérieur et vers l'intérieur, remplissant ainsi complètement l'intérieur initialement creux avec un matériau de tige ramolli. Malgré cette modification de la configuration du tube, il a effectué un travail utile sur le calcaire tendre, mais mal exécuté sur le calcaire dur et la calcite. Cependant, comme le foret avait pris la forme d'une tige solide au lieu d'un tube, la pénétration dans le calcaire tendre était réduite, même si le taux volumétrique de forage restait similaire à celui du tube utilisé avec du sable sec. L'utilisation des tubes de roseau sur le grès et le granit durs à gros grains, utilisant un abrasif de sable humide ou sec, les a tellement endommagés qu'aucune coupe utile n'a pu être réalisée.

Le cuivre : un nouveau matériau pour un usage ancien

Après l'introduction du cuivre véritablement fondu et coulé après ca. 3600 avant JC, l'ouvrier en pierre était capable d'imiter le roseau creux en martelant d'épaisses feuilles de cuivre coulé en feuilles plus minces et en les enroulant en tubes autour de moules cylindriques en bois fabriqués à partir de branches d'arbres; des tubes de plus grand diamètre peuvent avoir été moulés en forme. Il est possible que ces tubes aient été coulés en créant des moules verticaux, ouverts, de forme tubulaire dans du sable humide, réalisés initialement par un tube de roseau faisant office de modèle.



Figure 4.4 Un moule de forme tubulaire en sable, prêt à être rempli de cuivre fondu

Plus tard, la méthode de fabrication de tubes coulés à motif/noyau en bois aurait pu être introduite, dans laquelle un cylindre solide de bois, le motif, est poussé verticalement dans le sable humidifié, puis retiré. Un noyau de boue séchée cylindrique légèrement plus petit est ensuite placé au centre du trou laissé par le modèle et poussé dans le fond de sable du moule (Figure 4.4). Le moule tubulaire peut maintenant être rempli de cuivre fondu et le noyau peut être éliminé après refroidissement. Cette méthode^{42a} montré que le *le minimum* l'épaisseur de paroi du tube qui pouvait être coulée était de 4 mm (Figure 4.5).

Au chapitre 2, la coulée du cuivre dans des moules horizontaux ouverts en sable a été mentionnée (voir la figure 2.15). Dans une expérience,⁴³ l'épaisseur minimale de cuivre recouvrant juste le fond d'un moule était de 5 mm, une dimension similaire que Petrie attribuait à la largeur maximale des fentes de scie dans les objets en pierre et à l'épaisseur maximale des parois des tubes de forage. Cette épaisseur assurait la rigidité des scies longues. Cependant, des lames de scie plus fines, aussi fines que 1 mm, plus courtes, à la fois dentelées et à tranchant plat, doivent avoir été fabriquées à partir de plaques de cuivre qui avaient été martelées à partir d'une épaisseur de fonte minimale d'origine d'environ 5 mm.

Des exemples de cuivre battu en tubes et d'autres artefacts ont été trouvés. Alfred Lucas⁴⁴ nettoyé les douilles cylindriques en cuivre dans lesquelles reposaient les poteaux verticaux du dais de la reine Hetepheres, la mère de Khufu. Une douille a été fabriquée en formant une feuille de cuivre dans un cylindre et en soudant fort le joint qui se chevauche avec une soudure à base d'argent. Un morceau de conduite d'eau en cuivre, de 102 cm de long,

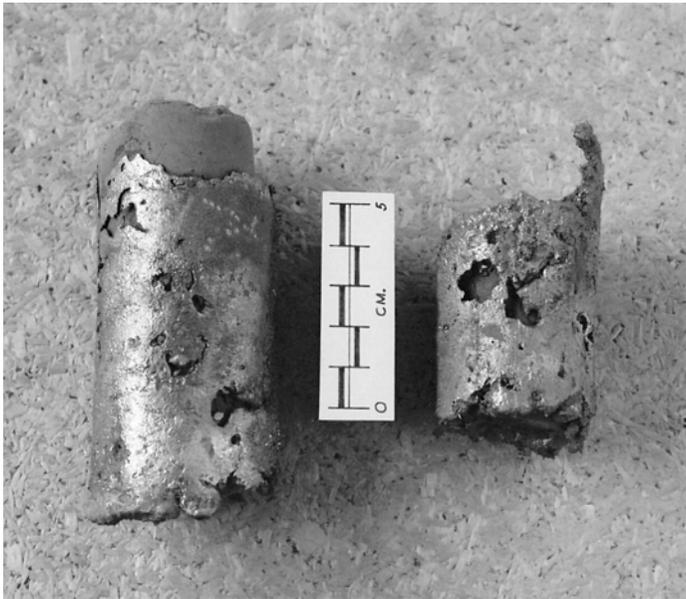


Figure 4.5 Deux moulages tubulaires en cuivre échoués

4,7 cm de diamètre et avec une épaisseur de paroi de 1,4 mm, a été trouvé au complexe pyramidal de Sahure de la cinquième dynastie.⁴⁵ Deux statues de la sixième dynastie de Pepi I et de son fils ont été construites en cuivre battu autour d'un noyau en bois.⁴⁶ La plupart des pièces ont été fabriquées en battant le cuivre jusqu'à une épaisseur de 1 à 2 mm, bien que d'autres pièces aient une épaisseur de 4 à 5 mm, et celles-ci peuvent d'abord avoir été coulées en forme. Bien que les forets tubulaires en cuivre de petit diamètre aient été fabriqués à partir de tôles coulées battues, une tôle de cuivre de 5 mm d'épaisseur est extrêmement difficile à former en tubes. Par conséquent, il est plus probable que les travailleurs des fours coulent directement des tubes de forage plus gros.

Les copies de la forme du tube de roseau en tôle ou en cuivre coulé offraient quatre avantages immédiats. Premièrement, les tubes peuvent être fabriqués à des diamètres, des longueurs et des épaisseurs de paroi uniformes raisonnablement précis. Deuxièmement, les tubes en cuivre fabriqués à partir de feuilles de cuivre martelées ont des parois plus minces (jusqu'à 1 mm d'épaisseur), ce qui signifie que moins de pierre doit être retirée d'un trou. Troisièmement, les tests ont montré que les tubes en cuivre peuvent percer le granit, la diorite et le porphyre, en plus des pierres plus tendres et, quatrièmement, les forets en cuivre s'usent beaucoup plus lentement que les forets à roseaux (comparer le tableau 4.1 avec les tableaux 4.2 et 4.3).

Le roseau comme sarbacane et la copie du tube de roseau en cuivre ont fondamentalement changé la direction de la technologie égyptienne antique et le développement de la civilisation égyptienne. Sans le chalumeau à l'époque prédynastique, il est peu probable que les fours aient pu être suffisamment chauds pendant le temps nécessaire pour faire fondre des quantités utiles de cuivre pour la coulée : un four primitif, dépendant uniquement du vent pour son air, est peu probable avoir égalé la fonte

Tableau 4.2 Scie Manchester pour le cuivre et le bronze et ratios de coupe de tubes à arc et taux - moyenne de toutes les expériences

Type de pierre	Rapports métal : taux d'usure de la pierre en volume			Taux de coupe (cm ³ /heure)	
	le cuivre outils	bronze outils	par poids cuivre et outils en bronze	cuivre tube vu	bronze tube vu
granit rose	1 : 3	1 : 3	1 : 0,9	1,5 4,0	1,3 3,0
diorite	1 : 3	1 : 3	1 : 0,9	2,0 5,0	1,8 4,5
grès dur	1 : 20	1 : 23	1 : 7	9,0 22,0	10,0 25,0
calcaire dur	1 : >100	1 : >100	1 : 8	15,0 37,0	14,5 36,0
calcite	1 : >100	1 : >100	1 : 12	30,0 75,0	30,0 75,0

Remarque : la densité du cuivre = 8,94 g/cm³, environ 3,3 fois les gravités spécifiques des pierres. Voir le tableau 4.4 pour les densités spécifiques des pierres.

Tableau 4.3 Scie à cuivre d'Assouan et données de coupe de tubes en granit rose

Une scie

	fente profondeur	fente longueur	temps pris	profondeur de sciage perdu	volume de le cuivre perdu	poids de le cuivre perdu	le volume de Pierre scié	poids de Pierre scié
mouiller sable	8cm	75cm	30	32 millimètres	170cm ³	1520g	360cm ³	972 grammes
sécher sable	3 centimètres	95cm	14	7,5 mm	52cm ³	463 grammes	170cm ³	459g
		taux de coupe		coup de scie longueur	rapport 1	rapport 2	rapport 3	
sable mouillé		12cm ³ /heure		90cm	1 : 2	1 : 0,6	1 : 2,5	
sable sec		12cm ³ /heure		115cm	1 : 3,3	1 : 1	1 : 4	

Les trois rapports exprimant les volumes, les poids et les profondeurs du cuivre usé de la scie (séparément avec l'abrasif de sable humide et sec) aux volumes, poids et profondeurs du granit scié sont enregistrés comme 1, 2 et 3 respectivement.

B. Tube

	trou profondeur	temps pris	tube longueur perdu	volume de le cuivre perdu	poids de le cuivre perdu	volume de percé calcul	poids de foré calcul
sable sec	6cm	20 heures	9cm	22,4cm ³	200g	104cm ³	280g
		taux de coupe	tours/min.	rapport 1	rapport 2	rapport 3	
sable sec		5,2cm ³ /heure	120	1 : 4,6	1 : 1,4	1 : 0,66	

Les trois rapports exprimant le volume, le poids et la longueur du cuivre abrasé du tube de forage au volume, au poids et à la profondeur du granit foré sont enregistrés respectivement 1, 2 et 3.

capacité de fours alimentés en air par plusieurs chalumeaux. Sans la capacité de couler des feuilles de cuivre suffisamment grandes pour travailler dans des tubes, ou directement pour les couler, l'artisan n'aurait pas pu étendre la production de récipients en pierre dure pendant la période Nagada II. L'expansion rapide des récipients en pierre dure au cours de cette période indique le remplacement du tube de roseau par une copie en cuivre.

Un tube de cuivre aurait été relativement court en raison de contraintes de fabrication mais, en enfonçant de force un long arbre en bois à mi-chemin dans un tube, une corde ou une corde d'arc pourrait être engagée pour faire tourner la perceuse, la partie supérieure de l'arbre tournant dans un pierre angulaire tenue à la main. Des arbres de grand diamètre peuvent avoir été cintrés, permettant à une corde d'arc, continuellement étirée par l'utilisation, d'être engagée sur une plus grande circonférence de la section cintrée, améliorant ainsi la prise de la corde d'arc sans la nuisance d'arrêter le travail et de raccourcir la corde. De plus, le diamètre extérieur d'un tube en cuivre est nécessairement plus grand que le diamètre de son fût en bois, laissant un tube pénétrer au fond des sarcophages et des grands récipients en pierre. Au fur et à mesure que le tube pénètre plus profondément, des noyaux de pierre successifs peuvent être cassés, permettant au tube de percer davantage l'artefact. Lorsqu'un tube de forage s'use jusqu'à une longueur qui n'est plus viable pour un forage efficace, il suffit d'installer un nouveau tube sur l'arbre d'origine. Un tube de forage usé, ainsi qu'une lame de scie à pierre usée, doivent avoir été renvoyés à la fonderie et fondus avec du cuivre supplémentaire pour fabriquer de nouveaux tubes et scies. Les métaux, tels que le cuivre et le bronze, étaient des produits précieux pour les anciens Égyptiens en raison des difficultés d'extraction des minerais, de leur fusion et du transport des lingots vers d'autres lieux de travail. Cela est indiqué par les contrôles stricts exercés sur le poids des outils en bronze appartenant à l'État délivrés aux ouvriers de Deir el-Médineh, qui ont coupé les tombes royales dans la Vallée des Rois, décourageant et réduisant ainsi le vol du métal. Il est simple de monter un nouveau tube sur l'arbre d'origine. Un tube de forage usé, ainsi qu'une lame de scie à pierre usée, doivent avoir été renvoyés à la fonderie et fondus avec du cuivre supplémentaire pour fabriquer de nouveaux tubes et scies. Les métaux, tels que le cuivre et le bronze, étaient des produits précieux pour les anciens Égyptiens en raison des difficultés d'extraction des minerais, de leur fusion et du transport des lingots vers d'autres lieux de travail. Cela est indiqué par les contrôles stricts exercés sur le poids des outils en bronze appartenant à l'État délivrés aux ouvriers de Deir el-Médineh, qui ont coupé les tombes royales dans la Vallée des Rois, décourageant et réduisant ainsi le vol du métal. Il est simple de monter un nouveau tube sur l'arbre d'origine. Un tube de forage usé, ainsi qu'une lame de scie à pierre usée, doivent avoir été renvoyés à la fonderie et fondus avec du cuivre supplémentaire pour fabriquer de nouveaux tubes et scies. Les métaux, tels que le cuivre et le bronze, étaient des produits précieux pour les anciens Égyptiens en raison des difficultés d'extraction des minerais, de leur fusion et du transport des lingots vers d'autres lieux de travail. Cela est indiqué par les contrôles stricts exercés sur le poids des outils en bronze appartenant à l'État délivrés aux ouvriers de Deir el-Médineh, qui ont coupé les tombes royales dans la Vallée des Rois, décourageant et réduisant ainsi le vol du métal. Les métaux, tels que le cuivre et le bronze, étaient des produits précieux pour les anciens Égyptiens en raison des difficultés d'extraction des minerais, de leur fusion et du transport des lingots vers d'autres lieux de travail. Cela est indiqué par les contrôles stricts exercés sur le poids des outils en bronze appartenant à l'État délivrés aux ouvriers de Deir el-Médineh, qui ont coupé les tombes royales dans la Vallée des Rois, décourageant et réduisant ainsi le vol du métal.

La construction et l'utilisation de l'expérimentation Scies et perceuses tubulaires Manchester

Huit tubes en cuivre, un tube en bronze, une scie en cuivre et une scie en bronze ont été testés sur les calcaires tendres et durs, la calcite, le grès dur (à gros grains), le granit bleu (à gros grains), le granit rose (à gros grains) et diorite.⁴⁸ Les gravités spécifiques des pierres sont contenues dans le tableau 4.4. Une scie en acier doux a été utilisée pour tester le granit et le calcaire dur.⁴⁹

Le sciage expérimental du granit avec une scie en acier doux recuit à faible teneur en carbone (moins de 0,30% de carbone) (VPN 131), similaire aux caractéristiques du fer forgé recuit, a indiqué que les scies en fer auraient effectivement pu couper cette pierre. La vitesse de coupe de la scie à acier était inférieure aux vitesses de coupe des scies pour le cuivre et le bronze (duretés recuites de VPN 42 et 75 respectivement). Les tests ont suggéré qu'une scie à fer devait être aussi douce que possible, permettant aux cristaux de quartz anguleux de s'enfoncer plus facilement dans le métal, augmentant ainsi son efficacité en tant qu'outil de coupe. Cependant, la scie nécessitait une pression de 3 kg/cm² afin d'obtenir une cadence de sciage optimale.

Tableau 4.4 Gravités spécifiques de certaines pierres égyptiennes

Type de pierre	Dureté de Mohs	Gravité spécifique (g/cm ³)
basalte	7	2.9
diorite	7	2.7
dolérite	7	2.9
silex	7	3.0
quartzite	6-7	2.7
porphyre	7	2.7
granit rose	7	2.7
syenite	7	2.7
calcite	3-4	2.7
grès dur	5	2.6
calcaire dur	5	2.6
calcaire tendre	2.5	2.4

Tableau 4.5 Rapports et taux de coupe de scies expérimentales en acier doux (fer forgé)

Calcul	Rapport acier : taux d'usure de la pierre (en poids)	Taux de coupe (cm ³ /heure)
granit	1 : 2	3
calcaire dur	1 : >100	30

Basé sur la vitesse de coupe expérimentale de la scie à acier de 3 cm³/heure pour le granit, et l'expérience acquise lors des essais de sciage à grande échelle dans la carrière de granit de Hamada Rashwan en mars 1999⁵⁰(voir ci-dessous), le taux ancien estimé pour scier le granit avec une longue scie en fer forgé lestée actionnée par deux ouvriers est d'environ 18 cm³/heure. Le rapport entre le poids du métal usé par la scie expérimentale et le poids du granit scié était de 1:2. Les résultats de sciage de l'acier pour le granit et le calcaire dur sont contenus dans le tableau 4.5.

Les diamètres des tubes de test en cuivre et en bronze variaient de 1 à 8 cm, avec des épaisseurs de paroi de 0,6 à 5 mm ; ils ont servi à établir les techniques de forage, les cadences de coupe et les rapports entre le cuivre et le bronze usés des outils et les volumes de pierre forés. Les quantités de sable consommées lors du sciage et du forage de chaque type de pierre ont également été enregistrées (voir tableau 4.6). Toutes les expériences de forage, à l'exception du tube de cuivre de 8 cm de diamètre, ont été réalisées à Manchester entre 1981 et 1982; le tube de cuivre de 8 cm de diamètre a été testé dans une carrière de granit rose à Assouan, en Haute-Égypte, en mars 1999.⁵¹ Une scie en cuivre et une scie en bronze, qui possédaient toutes deux des arêtes de 5 mm d'épaisseur, ont chacune été testées à Manchester pour établir les techniques de sciage et pour comparaison avec les résultats de forage. Le tube de bronze au plomb et la scie de ce métal ont également été testés et les résultats obtenus ont été similaires à ceux obtenus avec les tubes de cuivre et de bronze. Toujours à Assouan, les tests comprenaient le sciage d'une longue fente dans un bloc de granit avec une scie en cuivre à tranchant plat et lestée de pierre. Le Manchester

Tableau 4.6 Quantités moyennes de sable consommées par les scies à cuivre expérimentales et tubes de forage

Type de pierre	Dureté de Mohs	Gravité spécifique (g/cm ³)	Quantité de sable (g) consommée par cm ³ de pierre sciée et percée
granit rose	7	2.7	200-250
diorite	7	2.7	200-250
grès dur	5	2.6	60
calcaire dur	5	2.6	50
calcite	3-4	2.7	45

les résultats de sciage et de forage sont enregistrés dans le tableau 4.2 et les résultats de sciage et de forage d'Assouan dans le tableau 4.3.

Les résultats de coupe à la scie pour le cuivre et le bronze correspondaient étroitement aux résultats de forage tubulaire pour ces deux métaux. On remarquera, en comparant les résultats du tableau 4.5 avec les résultats contenus dans les tableaux 4.2 et 4.3, que l'acier plus dur coupe moins efficacement que les outils plus tendres en cuivre et en bronze : pour les besoins des essais, les tubes et les scies en cuivre et en bronze coulés ont été laissés à refroidir lentement, ce qui les a complètement recuits. Les feuilles de cuivre martelées ont été recuites avant d'être pliées en tubes.

Tous les forets tubulaires étaient équipés de tiges rondes en bois. Chaque arbre était fabriqué à partir de branches d'arbres préparées et séchées, dont l'écorce avait été enlevée par des grattoirs en silex. Les expériences ont prouvé que les arbres de forage restaient fermement fixés dans leurs tubes respectifs, quel que soit le diamètre qu'ils mesuraient ; le frottement entre l'arbre et le tube était tout à fait suffisant pour les maintenir ensemble pendant l'utilisation. Certains tubes étaient équipés d'arbres à côtés droits, mais d'autres étaient équipés d'arbres cintrés, ce qui permettait aux cordes ou cordes d'arc étirées de rester étroitement enroulées autour d'eux. Les expériences indiquent que les anciens artisans ont probablement adopté cette configuration tube / arbre, similaire à la conception de la tige de forage cintré. Chaque arbre de forage était arrondi à l'extrémité supérieure pour permettre une rotation libre dans l'une des trois pierres angulaires, qui servait de palier. Les petites scies de Manchester étaient munies de manches en bois, mais les poids de pierre de la scie d'Assouan, attachés par des cordes à chaque extrémité, servaient également de manches aux scieurs.

Deux outils étaient nécessaires pour enfoncer les tubes de forage ; il s'agissait de la proue et de la pierre angulaire (figure 4.6). Quatre arcs ont été construits à partir de branches d'arbres chevrons. Les deux principaux arcs d'essai avaient la forme de l'ancien arc de menuisier, partiellement plié ou incurvé à une extrémité du manche, et avaient des longueurs respectives de 39 cm (figure 4.7) et 73 cm. Chaque corde d'arc mesurait 2 mm d'épaisseur. Les deux autres étraves étaient en forme d'arc, l'une de 1,26 m de long, avec une épaisseur de cordage de 6 mm, l'autre de 1,63 m de long, avec une épaisseur de cordage de 1,3 cm. Des trous hémisphériques ont été creusés dans les trois pierres angulaires avec des ciseaux, des poinçons et des grattoirs en silex. Les trous ont été lissés avec des caoutchoucs de grès. Les trois pierres angulaires pesaient respectivement 510, 700 et 1 225 g. Une charge de 1 kg/cm², placée sur les faces d'extrémité des forets et les arêtes des scies, s'est avéré pour obtenir le meilleur



Figure 4.6 Une des pierres angulaires reconstruites

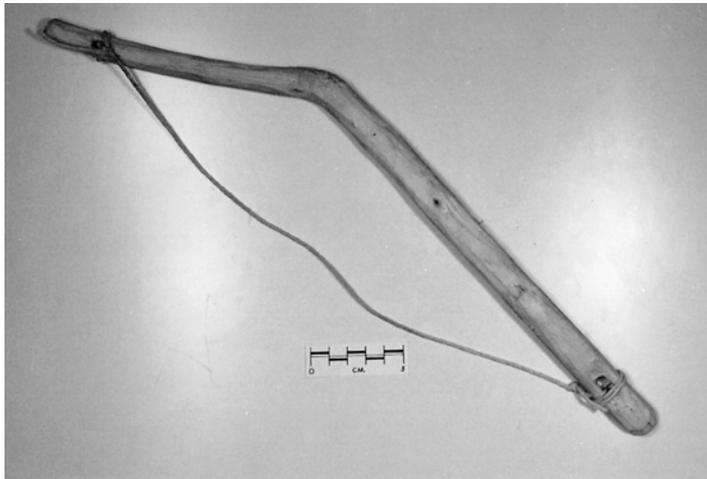


Figure 4.7 Un arc de 39 cm de long pour l'entraînement de petites foreuses tubulaires reconstruites

résultats de coupe. Cette pression, principalement exercée par le bras, tenait également compte de la fatigue personnelle. La charge totale a donc changé pour s'adapter à différents diamètres de tube de forage ou longueurs de scie.

Les cordes d'arc et les cordes d'arc étaient chacune attachées dans des fentes, coupées à cet effet à chaque extrémité de chaque arc. Il n'est pas possible de déterminer quels matériaux ont été utilisés pour fabriquer les anciennes cordes d'arc et les cordes d'arc pour conduire les tubes de forage. Il est possible que de la demi-herbe, du papyrus, de la fibre de lin ou de la fibre de palmier aient tous été utilisés. Un jeu suffisant a été laissé dans une corde d'arc de sorte que, lorsque l'arbre d'arc était légèrement plié, la corde d'arc faisait un tour complet autour de l'arbre de forage, maintenant ainsi l'arbre d'arc et la corde d'arc sous tension. La prise de la corde de l'arc sur l'arbre du foret a suffisamment résisté au frottement généré à l'extrémité du foret; aucun glissement d'une corde d'arc n'a eu lieu avec les tubes de forage de plus petit diamètre. Cependant, ce problème s'est posé avec le tube de forage de 8 cm de diamètre.

Les deux arcs en forme d'arc de test sont de forme différente des arcs inclinés ou courbes des menuisiers présentés dans certaines représentations de tombes.⁵² Des arcs plus grands, qui étaient nécessaires pour entraîner les foreuses tubulaires de grand diamètre, nous ont été perdus, tout comme les tubes de forage qu'ils entraînaient. Ces arcs anciens peuvent avoir été en forme d'arc de menuisier, ou en forme d'arc, un dessin que l'on retrouve dans certaines tombes thébaines de la XVIIIe dynastie.⁵³

Deux types de sable ont été obtenus pour les expériences. Les mesures de 150 cristaux de quartz, du premier type de sable, ont montré que leurs longueurs étaient comprises entre 0,69 et 0,16 mm. Le deuxième type de sable contenait des cristaux plus gros, et les mesures de 100 d'entre eux ont révélé que leurs longueurs se situaient principalement entre 1,27 et 0,13 mm, à l'exception de quelques cristaux, dont les longueurs étaient légèrement supérieures à 1,27 mm. Le sable plus grossier était employé sur le granit et la diorite, le sable plus fin sur le grès dur, le calcaire dur et mou et la calcite. (Les résultats pour le calcaire tendre sont inclus pour comparaison avec la capacité du tube de roseau à couper cette pierre.) Une grande proportion de cristaux de quartz dans le sable sont de forme angulaire, mais une proportion encore plus grande est à peu près sphérique.

Le sable abrasif utilisé pour les expériences de sciage et de forage de Manchester a été principalement utilisé à l'état sec (figure 4.8), mais certains essais ont été effectués avec du sable humide. À Assouan, un bord de la scie utilisait du sable humide pour couper une fente dans le granit rose, tandis que le bord opposé de la scie utilisait du sable sec pour couper une deuxième fente. Le grand tube de forage d'Assouan utilisait du sable sec, mais un court test avec du sable humide a révélé que ce test, et les autres, ont établi qu'il est contre-productif par rapport au type de sciage, de forage et de forage entrepris par les anciens Égyptiens. Selon notre façon de penser du XXIe siècle, les forets à métaux devraient être refroidis par un mélange d'eau et d'huile soluble. Les expériences ont démontré que les problèmes causés par la chaleur générée par le frottement ne se posent pas, et le taux de coupe du sable de quartz, en particulier lorsqu'il est utilisé avec des tubes métalliques, est légèrement meilleur avec le sable sec qu'avec le sable mouillé. Les mesures de la température des tubes de forage d'essai, sous charge pendant plusieurs minutes, ont montré une température de forage constante d'environ 80 à 100 °C. Le cuivre est un bon conducteur de chaleur, et cette capacité à conduire

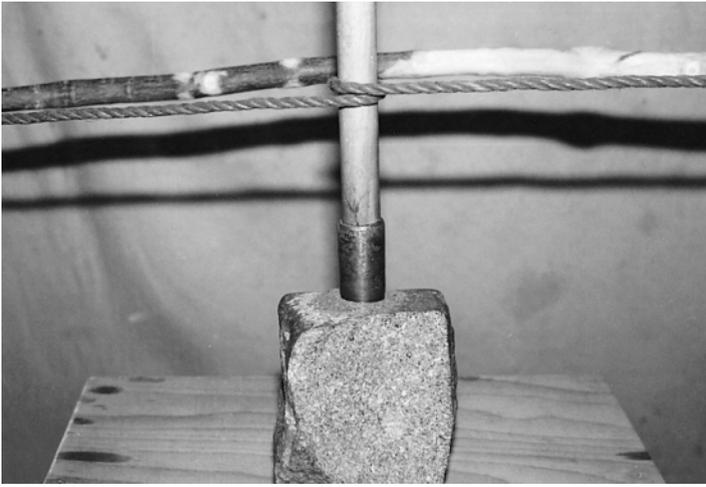


Figure 4.8 Forage de la diorite avec un tube en bronze entraîné par arc et un sable abrasif



Illustration 4.9 Gros plan d'un foret tubulaire en cuivre, engagé dans le trou de forage. Notez que le trou est légèrement surcoupé en raison des forces latérales imposées lors de l'action de forage

la chaleur vers le haut à partir de la zone de forage aide à maintenir la température d'une perceuse à un niveau bas. Les expériences avec les scies à cuivre à tranchant plat, utilisées avec du sable abrasif, indiquent que le cuivre recuit coupe plus efficacement que le cuivre martelé. (Les tubes de forage en cuivre et en bronze doivent rester entièrement recuits, alors qu'un foret hélicoïdal moderne en acier à grande vitesse doit être refroidi pour conserver sa dureté intacte.)

Le facteur clé permettant aux tubes de forage en cuivre de fonctionner est que les cristaux de quartz individuels s'incrudent dans le cuivre plus doux pendant une fraction de seconde et sont balayés, ou le long dans le cas d'une lame de scie, de la surface de la pierre. Les cristaux strient la pierre. Ces actions ont lieu plusieurs fois par seconde, provoquant la découpe progressive d'un trou de forme tubulaire (figures 4.9, 4.10, 4.11) ou d'une fente dans la pierre. L'expérience de travail démontre que les cristaux de sable sphériques roulent et agissent comme une forme de roulement - semblable à de minuscules roulements à billes. Ces actions aident les opérateurs à tourner une perceuse ou à pousser une scie. Cependant, à tout moment, des cristaux anguleux plus gros sont retenus dans le cuivre plus tendre et sont forcés de strier la pierre.

Un tube de forage rotatif en cuivre peut être considéré comme une sorte de concasseur giratoire ou de broyeur. Cependant, alors qu'un broyeur normal est conçu pour broyer de grosses particules avec un minimum d'usure des surfaces de broyage plus dures, les objectifs du forage tubulaire de la pierre sont de maximiser l'usure de la surface de broyage inférieure (la pierre) et de minimiser la usure de la surface de meulage supérieure (le tube de cuivre). Les cristaux de sable, les particules de pierre et les particules de cuivre du tube sont broyés par l'action de fraisage en tailles de plus en plus petites. Bien que les cristaux creusent et abrasent la face d'extrémité d'un tube de cuivre (figure 4.12) et le bord plat d'une scie à cuivre (figure 4.13), ils abrasent de nombreux types de pierre à un rythme plus rapide, à l'exception des pierres ignées, où le rapport, en poids, du cuivre usé des scies et des tubes à la pierre sciée ou percée est de 1:0,9. (Le rapport en volume est d'environ 1:3, où les gravités spécifiques du cuivre et de la pierre sont de 8,94 g/cm³ et 2,7 g/cm³ respectivement.) Les ratios obtenus à partir des pierres non ignées plus tendres sont plus avantageux (voir tableau 4.2).



Figure 4.10 Un trou tubulaire dans la diorite



Figure 4.11 Un trou tubulaire en granit rose

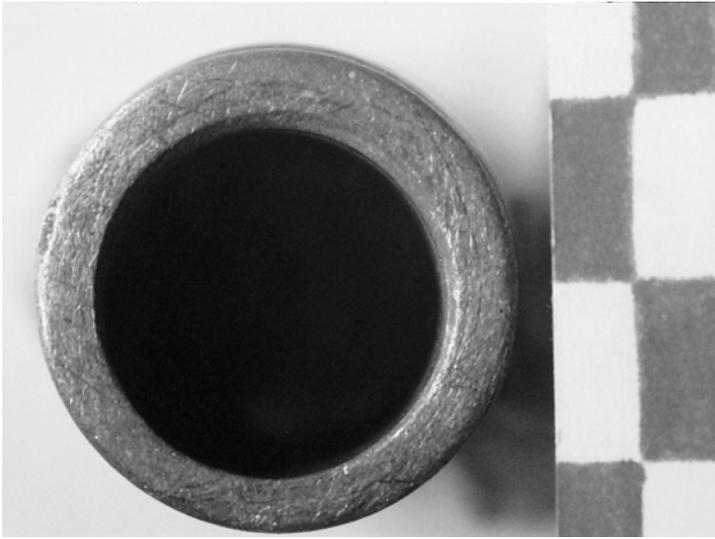


Figure 4.12 La surface de coupe striée et piquée d'un foret tubulaire en cuivre

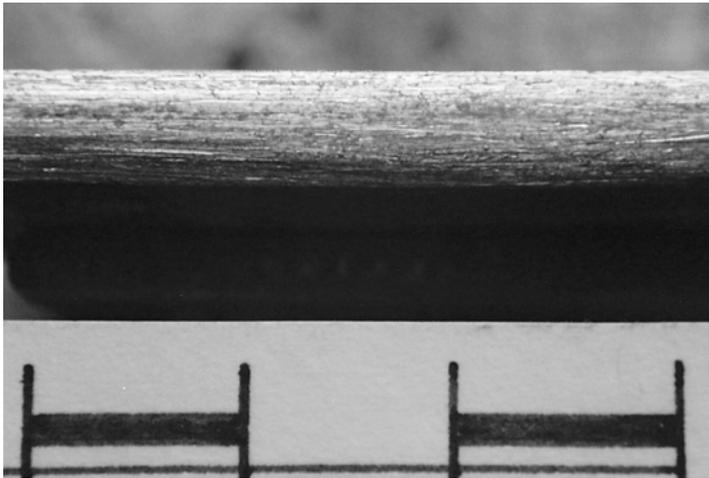


Figure 4.13 Le bord plat strié d'une lame de scie à pierre

Le sable humide est gênant à travailler dans la mesure où, lorsqu'il est usé, c'est-à-dire réduit à des proportions fines, il est difficile de l'enlever d'un vase de pierre. Le sable sec et utilisé peut facilement être déversé et les fournitures fraîches immédiatement admises. L'essence du forage avec l'abrasif de sable est le remplacement continu en douceur des cristaux usés par de nouveaux sur la face de coupe, et le sable humide ou desséchant l'empêche. Très humide ou fluide, le sable s'interchangera, mais si l'on considère

des trous profonds dans les sarcophages lourds, un nouveau facteur entre en jeu concernant l'évacuation du sable usé du trou. Les tests ont montré que le sable, après avoir été broyé par l'action de forage pendant un certain temps, se transforme en une poudre très fine. Il a la texture d'une farine finement moulue. Des expériences ont montré que si la quantité de sable en opération est broyée jusqu'à ce que tout le sable soit transformé en une poudre homogène finement broyée (Figures 4.14, 4.15), alors un nombre important de particules se situent dans la gamme de taille de 50 à 150 microns, avec la particule impaire mesurant environ 200 microns. La plupart des particules ont une taille inférieure à 50 microns. Cependant, une courte période supplémentaire de broyage réduit les plus grosses particules à des tailles comprises entre 50 et 80 microns (Figure 4.16). Certains forages de la pierre continuent, même avec cette poudre extrêmement fine. Cependant,⁵⁴

Après avoir marqué la pierre, des particules usées et brisées traversent sous la face d'extrémité d'un tube de forage et s'entassent dans l'espace entre le haut du noyau et le bas de l'arbre de forage en bois, bien qu'une partie de la poudre soit piégée entre le tube et la paroi du trou. Quelques gros cristaux de quartz passent parfois sous la face d'extrémité du tube de forage et sont entraînés dans le tube avec la poudre fine. De même, de gros cristaux sont piégés à l'extérieur du tube, où le sable grossier est initialement introduit. Les actions giratoires du tube de forage propulsé par l'arc forcent ces cristaux



Figure 4.14 Les déchets sable/cuivre/poudre de pierre, issus du forage granit avec tube de cuivre et sable

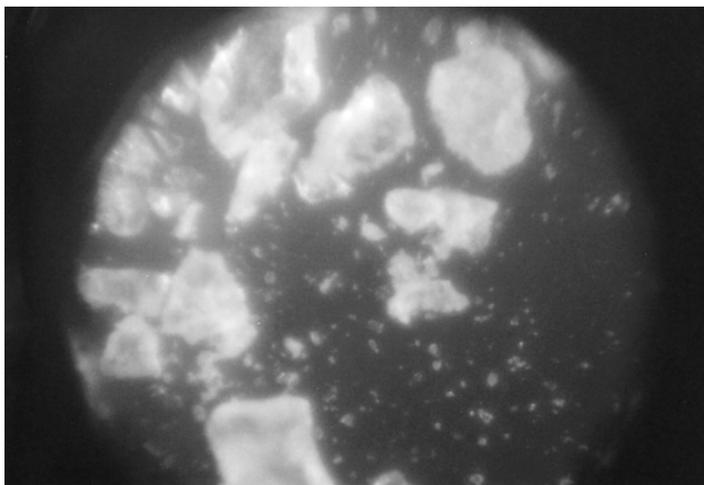


Figure 4.15 La poudre finement broyée, regardant à travers un microscope optique. Le domaine de la vue est de 1 mm de diamètre



Figure 4.16 Micrographie électronique à balayage d'une poudre dérivée de granit finement broyée. De nombreux fragments de quartz et de pierre mesurent entre 50 et 80 microns

pour couper des stries dans le noyau (figure 4.17) et dans la paroi du trou. Parce que la perceuse tourne deux ou trois tours dans le sens des aiguilles d'une montre, puis dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, ces cristaux plus lourds tourbillonnent dans la poudre. Naturellement, eux aussi, à leur tour, sont réduits en poudre. Le mouvement de va-et-vient d'une scie force également les particules plus grosses en suspension dans la poudre fine à entailler les parois latérales de la fente. Les stries produites expérimentalement étaient similaires à celles observées dans les anciens artefacts en pierre.

La poudre, du fait de sa finesse, est cohésive et adhère en une seule masse, bien que complètement sèche, restant en place à l'intérieur du tube de forage lorsqu'elle est retirée du trou. La poudre peut donc être retirée des trous profonds des sarcophages. La poudre de sable humide, en raison de son poids et de sa fluidité, ne peut pas être retirée ; il coule au fond. Naturellement, le trou tubulaire finit par se remplir de poudre usagée et les opérations de forage ultérieures sont considérablement gênées.

Ce devait être une question de jugement et de pratique quant au moment où un ancien foreur a retiré un tube chargé de la poudre usagée et l'a jeté, avant de recharger le trou avec du sable frais. Le tableau 4.7 donne les teneurs en pourcentage de sable, de pierre et de cuivre dans des échantillons moyens de poudre obtenus à partir du sciage et du forage du granit, du calcaire dur et de la calcite. Ces pierres ont été délibérément choisies pour l'analyse, car les expériences de faïence ultérieures indiquent que les poudres obtenues à partir des pierres ignées, comme le granit, le porphyre, le basalte et la diorite, pourraient être à la base d'émaux anciens, et que les poudres obtenues à partir du dur le calcaire et la calcite pourraient être à la base d'anciens noyaux de faïence.

En 1983, Leonard Gorelick et John Gwinnett ont découvert qu'ils pouvaient reproduire des lignes régulières et concentriques, ou des stries, sur des noyaux de granit *seulement* lorsqu'un tube de cuivre était utilisé avec de l'émeri (dureté Mohs 9) dans une suspension d'eau ou dans de l'huile d'olive. Les stries concentriques étaient également visibles à l'aide de corindon et de diamant. Gorelick et Gwinnett ont également signalé que le sable humide ou sec ou le quartz broyé (Mohs 7), utilisés conjointement avec un tube de cuivre, ne produisaient pas de stries concentriques autour des noyaux de granit. Cependant, en 1992, ils ont modifié ce point de vue en signalant que le quartz broyé produisait généralement moins de lignes, qui étaient grossièrement découpées. En effet, l'émeri plus dur et plus pointu était capable de couper plus profondément dans

Tableau 4.7 Pourcentages moyens indiqués (en poids) du sable, de la pierre et du cuivre dans le déchets de poudres

Type de pierre	Sable	Calcul	Le cuivre
granit	97,70	1.10	1.20
calcaire dur	94,46	4,93	0,61
calcite	94.10	5.43	0,46

Notes: la teneur en pourcentage de chaque matériau composant change légèrement dans toute poudre de forage ou de sciage d'une pierre particulière. La principale raison est la variabilité du type et de la quantité de sable utilisé comme abrasif. Cela affecte la quantité de cuivre usée par un tube de forage ou une scie et la quantité de pierre forée ou sciée par les outils.

la paroi latérale et donc de percer plus rapidement que l'abrasif au quartz.⁵⁶ Il faut s'y attendre, car l'émeri est beaucoup plus dur que le quartz. Cependant, les stries produites par les particules d'émeri semblaient être radicalement différentes des stries découpées dans les trous percés dans le couvercle du sarcophage en granit de la quatrième dynastie du prince Akhet-Hotep, que Gorelick et Gwinnett tentaient de reproduire dans leurs expériences de 1983.

Ils ont déclaré que leur tube de forage tournait à une vitesse constante de 1 000 tours/minute. Cela doit être supposé être dans une direction. Le tube d'environ 4,5 cm de diamètre utilisé pour les trous effilés du couvercle du sarcophage du prince Akhet-Hotep était enfoncé avec un arc. Cette taille de tube de forage n'aurait pu être entraînée qu'à la vitesse approximative de 200 tours / minute, deux à trois tours dans le sens des aiguilles d'une montre, suivis de deux à trois tours dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Une vitesse constante de 1 000 tours/minute dans une direction ne peut être comparée à la vitesse beaucoup plus faible de 200 tours/minute, où la rotation de la perceuse inversait chaque coup d'arc. Toute la nature de l'action de forage est différente. Bien que Gorelick et Gwinnett mentionnent l'utilisation d'un foret à arc, ils n'indiquent pas si l'un de leurs trous de forage a été fait avec un tube à arc. Donc,



Figure 4.17 Stries découpées dans un noyau de pierre

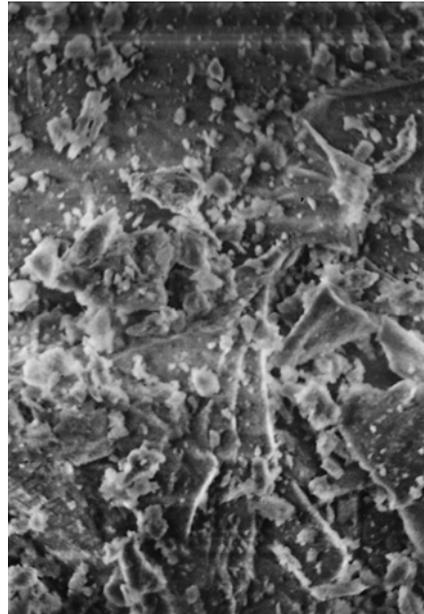


Figure 4.18 Micrographie électronique à balayage de minuscules particules angulaires dans la poudre dérivée du granite. La plupart des fragments de quartz et de pierre ont une longueur comprise entre 0,5 et 5 microns

Il ressort clairement des expériences de forage que le mouvement aléatoire des gros cristaux de sable contenus dans le sable finement pulvérisé, en particulier dans les trous profonds, *progressivement* gratte des stries dans la pierre. Les stries observées dans les artefacts anciens n'ont pas été immédiatement grattées dans toute leur profondeur et leur largeur par un seul cristal. Les stries sont causées par de nombreux cristaux sur une période de temps : en particulier, les stries dans le granit rose traversent, sans frein, l'interface entre les cristaux de feldspath et de quartz adjacents dans cette pierre. Au fur et à mesure qu'un noyau et une paroi de trou sont usés par la giration du tube de forage, certaines stries existantes sont abrasées, mais elles sont à nouveau approfondies par de nouveaux cristaux de sable. Ces stries s'étendent généralement horizontalement autour d'un noyau et de la paroi du trou, mais certaines stries traversent celles existantes à différents angles. La strie spiralée, vue par Petrie sur le noyau granitique de Gizeh (voir note 21), s'explique ainsi. Micrographies électroniques à balayage (SEM) de Gorelick et Gwinnett⁵⁷ du modèle époxy réalisé à partir d'une empreinte en silicone du fond d'un des forages du couvercle du sarcophage du prince Akhet-Hotep montrent que les stries concentriques n'étaient pas toujours régulières et parallèles. Certains se fondent dans des lignes adjacentes, tandis que d'autres convergent et divergent : ils sont d'aspect rugueux. Les expériences actuelles démontrent que les cristaux dans le sable sec produisent bien des stries concentriques dans les noyaux de granit, et dans les parois des trous, qui sont similaires aux profondeurs et aux largeurs des stries anciennes.

Le microscope électronique à balayage a révélé qu'une grande partie de la poudre est constituée de particules extrêmement fines. Beaucoup de ces particules se situent dans la gamme de taille de 0,5 à 5 microns, en particulier dans les poudres de pierre dure (Figure 4.18). Respirer de fines particules de pierre et de quartz de cette taille provoque des lésions pulmonaires chez les artisans.⁵⁸ Les particules, qui sont principalement du quartz inerte, s'incrustent dans le tissu pulmonaire, qui ne peut les isoler qu'en les entourant chacune d'un tissu cicatriciel. Ce tissu ne permet pas au dioxyde de carbone et à l'oxygène de traverser les parois des poumons. Après une exposition prolongée, l'efficacité pulmonaire est progressivement diminuée, entraînant une grave incapacité et, par la suite, la mort. Il est probable que les anciens travailleurs égyptiens souffraient de silicose grave à la suite de leur travail avec le sable et que leur espérance de vie était d'environ 30 ans. Cette estimation est étayée par les représentations funéraires existantes. Presque tous les foreurs de navires en pierre représentés sont jeunes. Aujourd'hui, le broyage industriel cause encore des blessures et la mort des travailleurs.

Le forage expérimental du granit rose et de la diorite a produit des poudres de couleur gris clair. Le granit noir et le basalte produiraient des poudres grises plus foncées ; ils peuvent ressembler et se sentir comme de l'émeri en poudre. Il est possible que ces poudres à base de quartz gris plus foncé aient été identifiées à tort comme de l'émeri en poudre. Les poudres provenant du forage et du sciage du calcaire et de la calcite sont de couleur presque blanche, en fonction de la couleur d'origine du sable abrasif. Les poudres de sable/pierre/cuivre produites anciennement, un déchet, peuvent très bien avoir été collectées pour être utilisées dans d'autres opérations de fabrication : pour le polissage d'artefacts en pierre, pour le perçage des perles de pierre et comme matériau de base pour la fabrication de certains noyaux de faïence, d'émaux de faïence bleue et verte, et de frittés et pigments bleus. Ces questions seront étudiées dans les chapitres 6, 8 et 9.

Les expériences de sciage et de forage d'Assouan

Alors que les essais à petite échelle de Manchester ont établi les données initiales de sciage et de forage, il est maintenant instructif de voir comment les essais à grande échelle se sont déroulés à Assouan. En mars 1999, une opportunité s'est présentée de scier et de forer du granit rose dans une carrière située en bordure de la ville d'Assouan, dans le sud de l'Égypte. Plusieurs ouvriers égyptiens de la carrière ont manœuvré une scie en cuivre de 1,8 m de long et un tube de forage en cuivre de 8 cm de diamètre, qui a été transporté en Égypte avec son arc moteur. Ces expériences de sciage et de forage ont été entreprises pour tester deux propositions théoriques⁵⁹: que des équipes de deux et trois ouvriers étaient nécessaires pour conduire respectivement les grandes scies anciennes (Figure 4.19) et les perceuses tubulaires (Figure 4.20). La scie et le tube de forage ont été testés sur le granit rose dans des conditions anciennes réalistes, et les résultats ont été comparés à ceux obtenus lors des expériences précédentes menées avec les scies et forets en cuivre reconstruits beaucoup plus petits à Manchester.⁶⁰ Chaque outil d'Assouan utilisait du sable obtenu localement comme abrasif de coupe.

La lame de scie en cuivre inutilisée de 1,8 m de long, se tenait sur son bord, mesurait 15 cm de profondeur, 6 mm d'épaisseur et pesait 14,5 kg. Les ouvriers de la carrière avaient auparavant, et inutilement, adapté une lourde armature en bois à cette lame de scie, en plus de l'encocher de nombreuses fois le long du tranchant avec une meule abrasive électrique ; sans aucun doute, ils ont été naturellement influencés par les pratiques de travail modernes. Néanmoins, pour comparaison avec un bord complètement plat agissant sur un abrasif de sable sec, il a été décidé de tester le bord cranté avec du sable fluide très humide sur une largeur de bloc de granit de 75 cm, sa surface initialement martelée le long de la ligne de sciage.



Figure 4.19 Une peinture illustrant comment les anciens ouvriers auraient pu scier du granit et autres pierres dures



Figure 4.20 Une peinture montrant comment d'anciens ouvriers auraient pu forer du granit et autres pierres dures avec des tubes de forage de grand diamètre

Deux ouvriers ont poussé et tiré la scie des côtés opposés du bloc. La lame se balançait d'un côté à l'autre lors de chaque mouvement d'avant en arrière, créant une fente en forme de V.⁶¹ A une profondeur de 8 cm, la forme en coupe transversale du V mesurait 2,5 cm en haut et 6 mm en bas, chaque côté étant incliné de 7° par rapport à la verticale. Cette fente en forme de V est similaire aux deux fentes partiellement sciées du sarcophage en granit rose de Hordjedef au musée du Caire, et aux fentes de scie taillées dans un bloc de pavé de basalte près de la pyramide de Khéops à Gizeh.⁶² Les fonds latéralement incurvés de ces fentes sont une autre conséquence de l'action de bascule de l'ancienne lame de scie, qui elle-même aurait pris une forme latéralement incurvée le long de son tranchant. Ces phénomènes se sont produits dans les expériences de sciage de sable humide et sec.

De longues stries parallèles de profondeurs et de largeurs variables, similaires à celles observées dans les objets en pierre anciens, étaient visibles sur les côtés et le fond de la fente, et sur les bords plats individuels de la scie entre les encoches. Il y avait des piqûres étendues sur les côtés de la scie, également observées lors du test de sciage à sec ultérieur. Dans les tests humides et secs, le granit supplémentaire abrasé pour former la forme en V n'a pas été pris en compte lors du calcul du taux de coupe. On a remarqué que le sable *eu* être maintenu fluide; l'assèchement du sable augmentait rapidement un effort déjà important pour déplacer la scie. La boue de poudre de sable utilisée a été versée sur chaque extrémité de la fente, sa teneur en cuivre étant en grande partie emportée dans le sol en dessous.

Pour les essais avec l'abrasif sable sec, le cadre en bois a été enlevé et la lame inversée pour permettre à son bord supérieur complètement plat d'agir sur la pierre ; la largeur du bloc de granit au point de sciage était de 95 cm. La lame était maintenant lestée de quatre pierres (voir Figure 6.3), deux attachées à chaque extrémité de la lame (suggéré pour la première fois en 1986) ;⁶³ ces quatre pierres, pesant 32 kg, servaient également de

poignées pour les scieurs. Le poids total de la scie de 45 kg plaçait une charge de près de 1 kg/cm² sur le tranchant de la lame en contact avec le granit.

Des stries parallèles similaires aux anciennes, et à celles obtenues dans les essais de sciage de Manchester, étaient visibles sur les côtés et le fond de la fente, et sur le bord plat continu de la scie. Les cristaux anguleux incrustés dans le bord et striaient la pierre sous la lame et le long des parois de la fente de scie, provoquant parfois de nouvelles stries, à d'autres moments rétablissant les anciennes, lorsque la lame se déplaçait d'avant en arrière le long de la pierre. Le taux de coupe à sec était d'un peu plus de 12 cm³/heure, similaire au résultat abrasif humide. Il était à noter que l'effort de va-et-vient de la scie à l'aide du sable sec était plus facile que pour l'abrasif à sable humide. La poudre de sable sec usée, de couleur grise, versée sur chaque extrémité de la fente, sa teneur en cuivre intacte.

Dans le tableau 4.3, les trois rapports exprimant les volumes, les poids et les profondeurs du cuivre usé de la scie (séparément avec l'abrasif de sable humide et sec) aux volumes, poids et profondeurs du granit scié sont enregistrés comme 1, 2 et 3 respectivement. Les ratios obtenus avec le sciage à la lame plate et au sable sec montrent une amélioration par rapport aux ratios obtenus avec la scie à crans et le sable humide.

Le forage tubulaire d'un bloc de granit rose a nécessité l'assemblage des quatre éléments constitutifs de l'outillage de forage : le tube de cuivre de 8 cm de diamètre, la tige de forage ronde en bois en partie emmanchée à force dans celui-ci, l'arc moteur et la corde, et un palier de couronnement dans lequel faire tourner l'extrémité supérieure de l'arbre de forage (voir Figure 6.6). La pierre angulaire a pris une heure pour façonner et creuser, à l'aide de ciseaux et de poinçons en silex, à partir de grès dur obtenu localement. Le sommet du fût était taillé en cône, avec un sommet arrondi ; l'expérience de forage a démontré une réduction du frottement si le sommet du cône tournait au sommet du roulement. Cela a été lubrifié avec de la graisse, à la place du suif probablement ancien. Des tests préliminaires à Manchester ont indiqué qu'un arbre d'étrave très rigide était nécessaire pour exercer une tension suffisante sur la corde d'étrave de 1,3 cm d'épaisseur, nécessaire pour éviter tout glissement sur l'arbre de forage en bois. Une petite zone de la surface du granit rose a été préparée en la martelant avec un marteau en dolérite jusqu'à ce qu'elle devienne plate et lisse. L'extrémité du tube, enduite de peinture à l'eau rouge (probablement de l'ocre rouge dans l'Antiquité), faisait une marque circulaire en la pressant sur la surface de la pierre. Le marteau en dolérite a enfoncé un ciseau en silex le long de la ligne circulaire pour faire une rainure. (Il existe des preuves dans la collection Petrie d'une telle rainure circulaire dans un récipient en albâtre inachevé, sans provenance et non catalogué.) Cette rainure a permis de localiser le tube pour l'opération de meulage initiale, obtenue en fixant deux poids de pierre temporaires au sommet du arbre de forage, qui a été continuellement tordu, à la main, dans le sens des aiguilles d'une montre et dans le sens inverse des aiguilles d'une montre sur du sable abrasif sec.

Une équipe de trois ouvriers actionnait la perceuse (figure 4.21), un ouvrier à chaque extrémité de la proue pour l'enfoncer, le troisième ouvrier tenant la pierre de façade (suggéré pour la première fois en 1986).⁶⁴ La corde d'étrave était suffisamment desserrée pour permettre deux tours complets



Figure 4.21 Au premier plan, l'équipe de trois ouvriers fore un bloc de rose granit avec un tube de cuivre de 8 cm de diamètre. En arrière-plan, deux scieurs actionnent la scie à cuivre à lame plate



Figure 4.22 La corde d'étrave tournait en double autour de l'arbre de forage

à faire autour de l'arbre de forage (Figure 4.22), ce qui a placé une contrainte de flexion sur l'arbre d'étrave. Cela a donné 50 cm de contact étroit entre la corde et la circonférence du puits de forage. Le tube de 8 cm de diamètre, avec des parois de 1 mm d'épaisseur, nécessitait de façon optimale une charge totale de 2,5 kg agissant sur son extrémité. Une charge plus importante que cela a causé un travail inutile aux foreurs et a même plié l'arbre d'étrave rigide, relâchant la tension dans la corde.

Les coups de va-et-vient normaux des travailleurs, chacun d'environ 50 cm de long, faisaient tourner l'arbre de forage à une vitesse de 120 tours/minute. Le foreur poussant l'arc a aidé simultanément l'autre foreur à le tirer; ces actions s'inversent automatiquement à la fin de chaque coup. Résister aux coups alternatifs n'était pas trop difficile pour l'ouvrier tenant la pierre angulaire, bien qu'il soit impossible de la maintenir complètement immobile. Une petite quantité de sable sec, coulant autour du tube au fur et à mesure que le forage progressait, s'est frayée un chemin jusqu'à la face de coupe. Des mesures ultérieures ont montré qu'environ 250 g ont été utilisés par la scie et le tube de forage pour enlever 1 cm³ du granit, similaire aux résultats de Manchester. L'eau dans le sable abrasif a rendu le tube de forage plus difficile à tourner et a emporté les particules de cuivre. En outre, la poudre de sable humide usagée, contenant probablement de la chaux, est difficile à retirer d'un trou tubulaire, prenant rapidement la forme d'un mortier rudimentaire si le forage est suspendu pendant une courte période. La poudre de sable sec était facile à enlever; il se collait à l'intérieur du tube de forage et pouvait périodiquement être retiré du trou.⁶⁵

Les actions giratoires de la paroi extérieure du tube de forage portaient le trou en un cône incliné vers le bas, et la paroi intérieure du tube portait le noyau en un cône inversé, c'est-à-dire plus étroit en haut et plus large en bas (Figure 4.23). La fente tubulaire, surtout, est également devenue conique. De plus, les mouvements latéraux du tube de forage à travers la fente, causés par l'action alternative de l'arc, le dépassent; ce phénomène diminuait à mesure que le trou s'approfondissait. Le forage

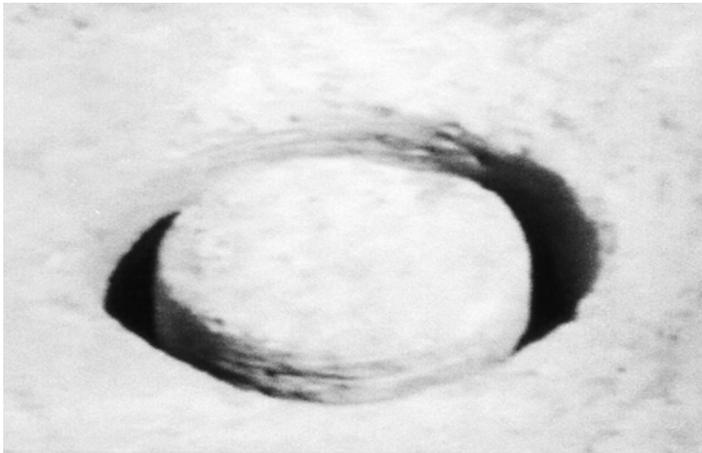


Figure 4.23 Le noyau dans le trou de forme tubulaire

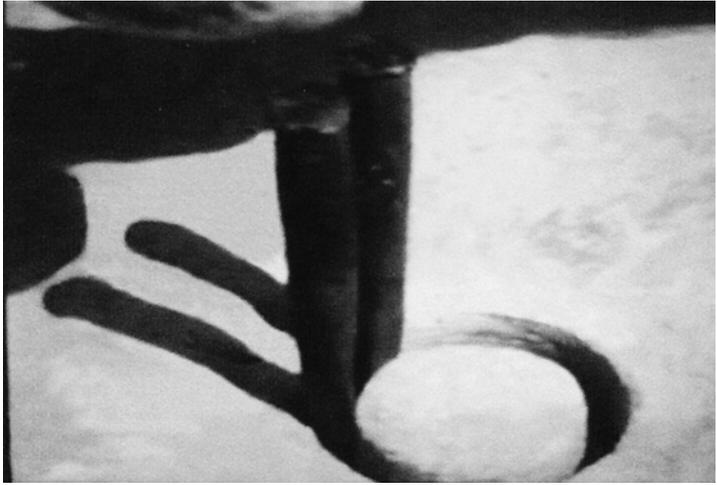


Figure 4.24 Burins coniques plats utilisés pour retirer le noyau du trou tubulaire



Figure 4.25 Le noyau granitique strié

les résultats sont résumés dans le tableau 4.3. Les trois rapports exprimant le volume, le poids et la longueur du cuivre abrasé du tube de forage au volume, au poids et à la profondeur du granit foré sont enregistrés respectivement 1, 2 et 3.

Le noyau a été retiré du granit foré en martelant solidement deux ciseaux coniques plats placés de manière adjacente verticalement dans la fente conique : la fente et le



Figure 4.26 Stries dans la paroi du trou

les cônes des ciseaux s'emboîtaient presque parfaitement (figure 4.24). Les ciseaux agissaient sur un court arc du haut de la circonférence du noyau, utilisant sa longueur comme levier. Cela a forcé le noyau, ce qui a placé le granit cassant au fond du noyau, et directement sous les ciseaux, sous une telle tension qu'il s'est complètement séparé, permettant d'extraire le noyau en un seul morceau (Figure 4.25). Des stries horizontales semblables aux anciennes sur le granit rose étaient visibles à la fois dans la paroi du trou (figure 4.26) et sur le noyau.

Discussion

Les sciages expérimentaux du granit rose avec l'abrasif de sable humide et sec indiquent que la pierre a été coupée à des taux à peu près égaux. Cependant, il n'est pas nécessaire qu'une scie à tailler la pierre soit entaillée ou dentelée comme une scie à bois. En fait, les encoches et les dentelures sont contre-productives pour scier avec un abrasif lâche, humide ou sec. Tout cuivre retiré pour entailler la scie est gaspillé, ce qui réduit la surface du tranchant. Le cadre en bois n'est pas nécessaire pour exercer une tension sur une lame aussi rigide, et dans un grand bloc de pierre, le cadre limite finalement la profondeur à laquelle la scie peut couper. Cependant, les poids de pierre à chaque extrémité permettent à une scie de couper la pierre sans restriction.

Les inconvénients du sable humide sont une augmentation de l'effort pour déplacer la scie, la fourniture de l'eau et la perte consécutive des particules de cuivre des déchets de poudre. D'autre part, le sable sec peut être utilisé dans des endroits éloignés de l'eau, une considération importante en Égypte. Pour le sable sec, les rapports des poids moyens du cuivre usé des outils d'Assouan aux poids moyens du granit scié et foré sont similaires aux résultats obtenus à partir du

Expériences de sciage et de forage à Manchester. Les cadences de sciage et de forage d'Assouan étaient respectivement six et trois fois plus rapides que les cadences de Manchester.

Les observations et l'expérience à Assouan avec la foreuse tubulaire suggèrent qu'une équipe de trois experts pourrait forer des trous tubulaires jusqu'à 12 cm de diamètre. Le tube de forage d'Assouan et le puits en bois, le puits d'étrave et la pierre de couverture n'ont nécessité aucun réglage ni réparation pendant la période de forage. Seule la corde d'étrave avait besoin d'être resserrée occasionnellement ; la corde a duré 18 heures de forage avant de s'effiloche gravement, lorsqu'elle a été remplacée.

L'abondance de sable quartzeux, et l'approvisionnement régulier en cuivre pour la fabrication de scies et de tubes, ont permis aux anciens artisans égyptiens de réaliser deux des opérations de travail de la pierre les plus redoutables : à savoir, le sciage et le perçage du granit rose. Tous les outils étaient importants pour les artisans de l'Égypte ancienne, mais il est juste de dire que la scie en cuivre à tranchant plat et le tube en cuivre à bout plat étaient cruciaux pour la fabrication réussie de récipients en pierre, de sarcophages, de statues et de blocs architecturaux, en particulier ceux fabriqués à partir de les pierres les plus dures.

Remarques

- 1 V. et G. Täckholm, *Flore d'Égypte*, Königstein : Otto Koeltz Antiquariat, vol. I, 1973, p. 204-7, 213-16.
- 2 Ibid., p. 210.
- 3 PM Warren, *Vases en pierre minoenne*, Cambridge : Cambridge University Press, 1969, p. 158-61 ; PM Warren, 'Le pot de marbre rouge inachevé à Akroteri, Thera', *Théra et le monde égéen*, 1978, p. 564.
- 4 JW Shaw, 'Architecture minoenne : matériaux et techniques', *Annuario della Scuola Archeologica di Atene* 49, 1971, p. 69-70, fig. 61-3.
- 5 Par exemple, WMF Petrie, *Les pyramides et les temples de Gizeh*, Londres : Field et Tuer, 1883, pp. 173-4 ; WMF Petrie, *Les arts et métiers de l'Égypte ancienne*, Edimbourg et Londres : TN Foulis, 1909, p. 73 ; WMF Petrie, *Outils et Armes*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1917, pp. 44-5 ; JH Poitrine, *Une histoire de l'Égypte*, New York : Smith, Elder and Co., 1906, p. 93 ; Son Altesse Coghlan, *Notes sur la métallurgie préhistorique du cuivre et du bronze dans l'Ancien Monde*, Oxford : Oxford University Press, 1951, p. 85 ; A. Lucas et JR Harris, *Matériaux et industries de l'Égypte ancienne*, Londres : Edward Arnold, 1962, p. 43, 71-4 ; GA Reisner, *Mycerinus, les temples de la troisième pyramide de Gizeh*, Cambridge, MA : Harvard University Press, 1931, p. 180 ; C. Aldred, *L'Égypte à la fin de l'Ancien Empire*, Londres : Thames et Hudson, 1965, p. 59 ; L. Gorelick et AJ Gwinnett, 'Le forage de la pierre dans l'Égypte ancienne : une perspective expérimentale sur un désaccord scientifique', *expédition* 25, 3, 1983, p. 40-7.
- 6 DA Stocks, 'Industrial technology at Kahun and Gurob: experimental manufacture and test of replica and reconstituted tools with specified uses and effects on artefact production', thèse non publiée, Université de Manchester, volumes I, II, 1988.
- 7 Par exemple, L. Gorelick et AJ Gwinnett.
- 8 Petrie, *Pyramides*, p. 174-5, pl. XIV, 3, 4.
- 9 Ibid., pp. 46, 84, 106, 174-5, pl. XIV, 1. Ibid., dix p. 84.
- 11 Ibid., p. 174-5.
- 12 MZ Goneim, *La pyramide enterrée*, Londres : Longmans, Green and Co., 1956, p. 108.

13CM JE46499.

14 L. Borchardt, *Das Grabdenkmal des Königs Ne-User-Re*, Leipzig: Hinrichs, 1907, p. 142.

15 Par exemple, deux statues en calcite de Menkaure (Reisner, *Mycerinus*, pp. 111, 116) et une statuette en cristal de quartz dans la Petrie Collection, University College London (Petrie, *L'artisanat*, figure. 89). Goussier, *La pyramide enterrée*, p. 108.

16

17 Pétrie, *Outils et Armes*, p. 44 ; Pétrie, *Pyramides*, PL. XIV, p.

18 8. Reisner, *Mycerinus*, p. 86. Ibid., p. 117, 118.

19

20 Les exemples sont un noyau de granit de Gizeh (Petrie, *Pyramides*, PL. XVI, 7), une carotte de diorite de 3,2 cm de diamètre provenant de Saqqarah (Lucas et Harris, *EMI*, p. 69) et un noyau de granit de 9 cm de diamètre de Gizeh, avec une coupe à la scie sur sa surface supérieure (Boston Museum of Fine Arts 13.5078).

21 Pétrie, *Pyramides*, p. 174, pl. XVI, 7; Pétrie, *Outils et Armes*, p. 44-5, pl. LII, 59.

22 Pétrie, *Pyramides*, p. 174, pl. XVI, 4, 12. Idem, p. 175.

23

24 Idem.

25 Ibid., p. 176.

26 Ibid., p. 174.

27 Idem.

28 Ibid., pp. 174-5, pl. XIV, 3.

29 Borchardt, *Ne-Utilisateur-Re*, p.

30 142. Lucas et Harris, *EMI*, p. 74.

31 Idem, p. 69.

32 Reisner, *Mycerinus*, p. 180. Adred,

33 *L'Égypte jusqu'au bout*, p. 59.

34 Poitrine, *Une histoire*, p. 93. Pétrie,

35 *Outils et Armes*, p. 45-6.

36 JE Quibell et FW Green, *Hiérakonpolis II*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1902, p. 17.

37 DE Eichholz, *Histoire naturelle de Pline*, Londres et Cambridge, MA : Harvard Presse universitaire, 1962, p. 41.

38 Stocks, 'Technologie industrielle', vol. Je, p. 136.

39 MJ Fisher et DE Fisher, *Mystères des empires perdus*, Londres : Channel 4 Books, 2000, p. 93-7.

40 FF Leek, 'L'histoire dentaire des momies de Manchester', dans AR David (éd.) *Projet de momie du musée de Manchester. Recherche multidisciplinaire sur les restes momifiés égyptiens antiques*, Manchester : Manchester University Press, 1979, p. 75.

41 Stocks, 'Technologie industrielle', vol. I, p. 137-40, vol. II, p. 344 ; Actions DA, 'La technologie et le roseau', *Le bulletin archéologique de Manchester* 8, 1993, p. 58-68.

42 Stocks, 'Technologie industrielle', vol. I, p. 58-60.

43 Ibid., vol. Je, p. 57.

44 Lucas et Harris, *EMI*, p. 215-16.

45 L. Borchardt, *Das Grabdenkmal des Königs Ša-h. tu-re*, Leipzig : Hinrichs, vol. moi, 1910, p. 78.

46 Quibell et Green, *Hiérakonpolis II*, p. 46-7, pl. L-LVI.

47 J. C-erný, « L'Égypte de la mort de Ramsès III à la fin du XXI^e Dynasty », dans IES Edwards (éd.), *L'histoire ancienne de Cambridge*, Cambridge : Cambridge University Press, 1975, vol. II (2), p. 621.

48 Stocks, 'Technologie industrielle', vol. I, p. 133-6.

49 Ibid., vol. II, p. 343.

- 50 DA Stocks, 'Test des anciennes méthodes de travail du granit égyptien à Assouan, Haut Egypte', *Antiquité*75, 2001, p. 89-91, fig. 1.
- 51 Pêcheur et Pêcheur, *Mystères des empires perdus*, p. 64-5. Stocks, « Test des méthodes de travail du granit de l'Égypte ancienne à Assouan », pp. 91-3, fig. 2, 3.
- 52 Par exemple, N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-R™™ à Thèbes*, New York: Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, svp. LII, LIII.
- 53 *Ibid.*, vol. II, pl. LIV.
- 54 DA Stocks, 'Fabrication de vases en pierre', *Archéologie populaire*7 (4), 1986, p. 17; DA Stocks, "Techniques de production de masse dans les anciennes usines: indications de la fabrication de perles de pierre à grande échelle pendant la période du Nouvel Empire égyptien", *Antiquité*63, 1989, pages 528, 530; DA Stocks, 'Indications de l'interdépendance industrielle de l'Égypte ancienne : une déclaration préliminaire', *Le bulletin archéologique de Manchester*4, 1989, p. 21-6; DA Stocks, 'Dérivation de l'âme de la faïence égyptienne antique et des matériaux de glaçure', *Antiquité*71, 1997, p. 179-82.
- 55 L. Gorelick et AJ Gwinnett, « Ancient Egyptian stone-drilling : an experimental point de vue sur un désaccord savant », *expédition*25 (3), 1983, p. 40-7.
- 56 L. Gorelick et AJ Gwinnett, 'Minoan versus Mesopotamian seals: comparative méthodes de fabrication', *Irak*LIV, 1992, p. 62.
- 57 Gorelick et Gwinnett, « Le forage de la pierre dans l'Égypte ancienne : une perspective expérimentale sur un désaccord savant », fig. 5, 6.
- 58 A. Curry, C. Anfield et E. Tapp, 'L'utilisation du microscope électronique dans l'étude de la paléopathologie', dans AR David (éd.) *Sciences en égyptologie*, Manchester : Manchester University Press, 1986, p. 58-9, fig. 2.
- 59 DA Stocks, 'Bâtons et pierres de la technologie égyptienne', *Archéologie populaire*7 (3), 1986, p. 28, illustrations du haut et du bas.
- 60 *Ibid.*, p. 24-9; Stocks, 'Technologie industrielle', vol. I, p. 100-43.
- 61 Suggéré par RG Moores (RG Moores, 'Evidence for use of a stone-cutting drag saw by the quatrième dynastie Egyptiens', *JARCÉ*28, 1991, p. 143).
- 62 CMJE54938; Moores, « Preuve de l'utilisation d'une scie à chaîne pour tailler la pierre par les Égyptiens de la quatrième dynastie », p. 143, fig. 6, 7. Dans sa fig. 6, Moores a mesuré l'angle des parois latérales de la fente par rapport à la verticale à environ 8°.
- 63 Stocks, 'Bâtons et pierres de la technologie égyptienne', p. 28, illustration du haut; Actions, « Test des méthodes de travail du granit de l'Égypte ancienne à Assouan, en Haute-Égypte », p. 90, figure, 1.
- 64 Stocks, 'Bâtons et pierres de la technologie égyptienne', p. 28, illustration du bas.
- 65 *Ibid.*, p. 27.
- 66 Hypothétiquement suggéré par RG Moores (Moores, 'Evidence for use of a stone-couplant la scie à la traîne par les Égyptiens de la quatrième dynastie », p. 147).

5

FABRICATION DE VAISSEAUX EN PIERRE

Vases de pierre par milliers

La technologie pour creuser des récipients en pierre a été pleinement établie à l'époque prédynastique. Pendant les périodes Badarian et Nagada I, les récipients en pierre dure étaient nécessairement et laborieusement creusés avec des foreurs de pierre à main, utilisés en conjonction avec un abrasif de sable du désert; à ces époques, les foreurs de silex à main étaient probablement utilisés pour la pierre très tendre (par exemple le gypse), sans sable abrasif. G. Caton-Thompson et EW Gardner ont trouvé des outils de chert en forme de croissant (✓ 4 pour les croissants) qui ont été utilisés pour percer l'intérieur des récipients en gypse dans un atelier de l'Ancien Empire à Umm-es-Sawan dans le Fayoum (Figure 5.1, à gauche); les croissants étaient fréquemment retrouvés durcis dans du gypse.

Quelques trous dans le calcaire tendre (ex. MMA 14.7.146, du mastaba de Perneb), probablement percés avec des silex en forme de croissant, ont été découverts à Saqqarah par CM Firth, JE Quibell et J.-P. Lauer.² Les croissants de silex et de chert ont fait varier considérablement les stries de la pierre très tendre en profondeur, largeur et direction, et un récipient en gypse cassé au Robert H. Lowie Museum, Berkeley, Californie (6-10016), illustre ces caractéristiques. Cependant, les essais sur la calcite ont montré qu'il est trop difficile de percer efficacement avec des croissants de silex ou de chert (figure 5.2),³ et les expériences supplémentaires avec les perceuses tubulaires à roseau suggèrent que ces outils auraient pu être utilisés dans l'antiquité pour percer les récipients en pierre fabriqués à partir de calcite, dans



Figure 5.1 Un foreur de silex en forme de croissant de l'Ancien Empire, BM 59998 (à gauche), probablement utilisé pour creuser des récipients en gypse, et un foreur de quartzite strié en forme de huit d'Abydos, BM 37278 (à droite), daté de la Première Dynastie. (© Copyright Le British Museum)



Figure 5.2 Une réplique de foreur de chert en forme de croissant

en plus des vaisseaux en calcaire dur, avant l'introduction des tubes de cuivre à l'époque de Nagada II. Lorsque des croissants de silex et de chert sont forcés contre les parois des vaisseaux en pierre dure, l'action de grattage brise leurs bords.⁴

Les cimetières badariens ont produit peu de vases en pierre, mais à partir de Nagada I, ils sont devenus plus courants et ont été fabriqués dans une variété de formes et de pierres. Des pots en basalte à fond plat, certains avec des pattes perforées sous le rebord pour la suspension, et qui peuvent être des copies de vases en ivoire de Badarian, ont été fabriqués à cette époque.⁵ Des formes similaires ont été trouvées à Merimde, en Basse-Égypte. Dans la période Nagada II, une forme de vase en pierre populaire était le type sphéroïdal aplati (une sphère aplatie), qui était faite d'un rebord et de deux pattes perforées de forme tubulaire. De bons exemples de cette forme (Figure 5.3) peuvent être vus au Manchester Museum (1776, en syénite - un type de diorite d'Assouan) et au Petrie Museum, University College London (UC 15587, en brèche). Les jarres à oreilles bulbeuses plus hautes de la période prédynastique étaient faites de porphyre, de diorite, de brèche, de serpentine, de calcite et de calcaire. Un excellent exemple est une jarre à double anse calcaire/brèche de la période Nagada II (MMA 12.183.2). Des stries sont visibles à l'intérieur de l'embouchure du vaisseau.

La fabrication de navires en pierre a quelque peu diminué vers la fin de la période Nagada II, bien que des navires contemporains de bonne qualité en granit, diorite, basalte, gneiss, calcaire et calcite aient été trouvés à Ma'adi,⁶ et certains d'entre eux ont été utilisés pour le commerce. L'industrie a continué à prospérer au début de l'époque dynastique. Un bel exemple de cette période est une jarre trapue (MMA 24.7.5), en diorite. Cependant, à la fin de l'Ancien Empire, non seulement le nombre de vases en pierre a diminué, mais aussi le pourcentage de vases fabriqués à partir des pierres les plus dures.⁷ Le nombre de vases en pierre plus tendre, en particulier ceux en



Figure 5.3 Un vase en syénite de forme sphéroïdale oblate Nagada II de Hierakonpolis (MM 1776), avec des oreilles percées. Le diamètre interne, la hauteur et l'épaisseur de la paroi du récipient sont respectivement de 50 cm, 34 cm et 3 cm. (Avec l'aimable autorisation du Manchester Museum, l'Université de Manchester)

calcite, a augmenté de façon spectaculaire. Par exemple, stockés dans diverses chambres sous la pyramide à degrés de Zoser à Saqqarah se trouvaient des dizaines de milliers de récipients en pierre, dont beaucoup étaient en calcite, mais d'autres récipients en schiste, porphyre, brèche, cristal de quartz et serpentine étaient en évidence.»

Le travail expérimental des pierres dures a indiqué que le façonnage extérieur de tous les récipients en pierre dure, y compris ceux fabriqués en basalte, diorite, porphyre, brèche, granit et même la calcite plus tendre, à chaque période, devait avoir été complété avec des ciseaux à silex, poinçons et grattoirs. Les incisions et les autres marques obtenues avec les ciseaux à silex expérimentaux, les poinçons et les grattoirs sur la calcite et les pierres ignées correspondaient aux marques sur une variété d'artefacts en pierre anciens fabriqués à partir de pierres similaires. Même les récipients en calcaire tendre et en gypse, qui auraient pu être façonnés avec des outils en cuivre, avaient probablement besoin d'endroits difficiles à façonner avec des grattoirs en silex ; les cols, les bords et la coupe des épaules des navires nécessitaient tous des techniques de sculpture qualifiées à l'aide d'outils exceptionnellement tranchants.

Bien que certains récipients en pierre aient été de forme cylindrique et ne nécessitaient qu'une perceuse tubulaire pour creuser, de nombreux récipients étaient bulbeux. Quelques excellents exemples de vaisseaux bulbeux ont été récupérés par G. Brunton et WMF Petrie de la tombe 8, qui se trouve au sud de la pyramide de Sésostris II à Lahun. Ces récipients, maintenant au Metropolitan Museum of Art de New York, se composent de quatre pots canopes en calcite (16.1.45-48) et d'un pot d'eau magique en calcite (21.2.62); ils appartenaient tous à la princesse Sit-Hathor-Yunut, fille de Sésostris II. Chaque pot canope mesure 25,7 cm de haut, 14 cm de diamètre à sa base, avec un diamètre d'épaulement de 21,7 cm. La jarre à eau magique mesure 42 cm de haut, 10 cm de diamètre à sa base, 28 cm de diamètre à sa

épaules et possède des parois de 1,2 cm d'épaisseur. Chaque pot nécessitait un élargissement sous l'épaule à l'aide de processus de forage distincts du perçage de l'intérieur avec des tubes. Toutes les jarres représentent le meilleur de la fabrication de récipients en pierre et ont probablement été créées dans la ville ouvrière voisine de Kahun.

Quels ont été les facteurs clés qui ont permis l'accomplissement d'un tel travail ancien ? Quels étaient les éléments communs joignant la production de vases en calcite cassants à l'évidement de vases en pierre plus dure, et qui étaient de formes et de tailles variées ? Quel outil était commun à toutes ces entreprises ?

La preuve de la tombe pour la fabrication de récipients en pierre

Similitudes entre les périodes Uruk et Jemdet Nasr de la Mésopotamie (vers 3600–2900^{avant JC}) et les périodes Nagada II et début dynastique de l'Égypte (vers 3600–2890^{avant JC}) comprennent les joints cylindriques, la conception de façade à panneaux encastrés dans l'architecture, l'utilisation de pictogrammes et d'art décoratif, et les formes de récipients en pierre. Et les artisans de Mésopotamie et d'Égypte ont nécessairement développé des outils et des techniques similaires pour fabriquer des vases en pierre. Afin d'explorer ces similitudes, l'utilisation d'un ancien outil égyptien reconstruit dans la fabrication d'un vase en calcaire a été étudiée.

On pense généralement que le battage à froid, ou le forgeage, du cuivre véritablement fondu et coulé dans des outils et d'autres artefacts s'est produit pour la première fois en Égypte vers 3600^{avant JC},^{dix} les moulages se faisaient dans des moules ouverts rudimentaires à cette époque.¹¹ Des outils en cuivre coulé forgés à froid étaient également fabriqués en Mésopotamie.¹² La technique de battre le cuivre en feuilles doit avoir existé à la fois en Égypte et en Mésopotamie, où des récipients de ce métal ont été trouvés à Ur par Leonard Woolley.¹³ La feuille de cuivre était indispensable à la fabrication des tubes de cuivre, outils indispensables pour percer les vases en pierre dure.

Certes en Égypte, et probablement aussi en Mésopotamie, des forets tubulaires en cuivre servaient au premier évidement de l'intérieur des vases et jarres en pierres dures,¹⁴ bien que, comme en Égypte, la foreuse tubulaire en cuivre pour la taille de la pierre n'ait jamais été localisée en Mésopotamie. Les stries sont clairement visibles à l'intérieur *verticalement* (fabriqués avec des forets tubulaires, et non des foreurs de pierre) de navires de Mésopotamie et d'Égypte, causés par le sable abrasif utilisé avec les forets. Par la suite, les vaisseaux bulbeux mésopotamiens et égyptiens – ceux considérablement plus larges à l'intérieur qu'à l'embouchure – ont été creusés davantage par meulage avec un autre outil, un foreur en pierre de forme allongée (figure 5.4). Le milieu de son axe long a été conçu pour se rétrécir également des deux côtés. Vu de dessus, le foreur prend la forme d'un huit, permettant à un arbre fourchu de s'engager avec la ceinture (Figure 5.5). Le haut est normalement plat, le bas courbé. En Égypte, ce foreur particulier a été découvert à Hierakonpolis, un site associé à la production de vaisseaux de pierre prédynastique tardif et dynastique précoce ;¹⁵ Des foreurs mésopotamiens en forme de huit ont été découverts par Woolley à Ur.¹⁶ Un trou tubulaire précédemment réalisé, après l'extraction de la carotte, pouvait être agrandi avec des foreurs en forme de huit successivement plus longs jusqu'à ce que la forme interne correcte soit obtenue.



Figure 5.4 Un foreur de pierre allongé en forme de huit reconstruit



Figure 5.5 Le foreur de pierre allongé reconstruit engagé avec un arbre fourchu

Des foreurs circulaires ont été utilisés pour broyer des bols en pierre mésopotamiens, et un foreur de pierre mésopotamien à cet effet, d'Ur (BM 124498),^{17a} des stries sur sa surface inférieure incurvée et une pièce découpée de chaque côté de sa surface supérieure plate, également pour retenir un arbre fourchu. À Ur, les foreurs de pierre en forme de huit étaient courants pendant les périodes Uruk et Jemdet Nasr, et Woolley pensait que la partie resserrée de ce foreur de pierre était engagée par un arbre en bois fourchu. *conduit avec un arc*.¹⁸ Les foreurs en diorite sont courants en Mésopotamie et en Égypte; les autres pierres utilisées en Égypte comprenaient le chert, le grès et le calcaire cristallin.

Les stries sur les vaisseaux mésopotamiens et sur les surfaces inférieures des foreurs de pierre sont similaires aux stries observées sur leurs homologues égyptiens - généralement de 0,25 mm de large et de profondeur causées, comme discuté au chapitre IV, par l'abrasif de sable de quartz. Ce matériau a été relié aux foreurs de pierre égyptiens par N. de G. Davies, JE Quibell et FW Green. Davies a souligné que le tranchant était horizontal et que la surface à proximité était marquée par des rainures parallèles, suggérant que le sable était le véritable milieu d'excavation.¹⁹ Le dessous des foreurs en forme de huit trouvés par Quibell et Green²⁰ à Hierakonpolis ont été marqués aux deux extrémités par des stries parallèles. Ces stries décrivent un arc, centré sur l'axe de rotation vertical de chaque foreur (voir Figure 5.1, à droite).

Ni les fûts de bois fourchus, ni les outils qui les entraînaient n'ont été découverts en Mésopotamie ou en Égypte. Cependant, l'outil est représenté sous la forme d'un hiéroglyphe, le premier connu survenu sous la troisième dynastie à Saqqarah.²¹ Au cours de l'Ancien Empire, l'idéogramme utilisé dans les mots pour 'artisanat', 'art', et d'autres mots apparentés, représentent ce hiéroglyphe comme un *arbre central fourchu* avec deux poids de pierre,

ou des sacs de sable, attachés sous une anse inclinée, courbée et effilée.²²Cette fourche s'engageait dans un foreur de pierre, représenté en élévation latérale, masquant ainsi sa forme en huit ou circulaire. L'idéogramme de l'arbre fourchu ne montre donc que la vue visuellement intéressante et informative de la fourche et du foreur, plutôt que la vue ambiguë d'un tube, qui semblerait faire partie de l'arbre ; cela suit le protocole artistique égyptien antique. Les poids plaçaient une charge sur la surface de coupe d'un outil. Il n'y a pas de représentations connues de Mésopotamie.

Différentes formes de l'outil sont illustrées dans un certain nombre de tombes égyptiennes construites entre la cinquième et la vingt-sixième dynastie. Dans ces illustrations, le récipient obscurcit l'extrémité de travail inférieure de l'arbre de l'outil, mais parfois un deuxième arbre est montré attaché à l'arbre central. Au Moyen Empire, la méthode de pondération de l'outil à double pierre est illustrée à côté d'un seul poids de pierre hémisphérique perforé, dans lequel se trouve l'arbre central.²³À l'époque du Nouvel Empire, l'idéogramme représentant l'outil était devenu un arbre fourchu attaché à un arbre central, avec un poids de pierre hémisphérique.²⁴Dans une représentation funéraire de la vingt-sixième dynastie,²⁵deux poids sont à nouveau mis en évidence, ce qui reflète l'intérêt de la Vingt-sixième dynastie pour la période de l'Ancien Empire. De plus, des poids suspendus séparés sont beaucoup plus faciles à fabriquer et à installer qu'un poids hémisphérique percé au centre. À partir de la Cinquième Dynastie, un fût fourchu était fixé par une fine corde au fût central d'un outil (Figure 5.6), comme le montre une représentation peinte d'une tombe de la XIIe Dynastie (Fitzwilliam Museum, Cambridge E55.1914, un fragment de calcaire de Lahun) .

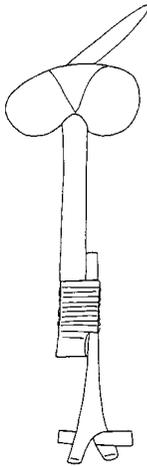


Figure 5.6 Une représentation de la XIIe dynastie représentant un arbre fourchu fixé à un arbre central. Tiré du Fitzwilliam Museum E55.1914. (Avec l'aimable autorisation du musée Fitzwilliam)

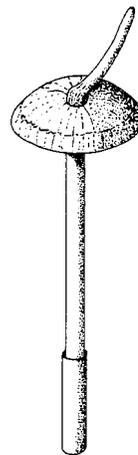


Figure 5.7 Une version de forage proposée de l'outil pour fabriquer des récipients en pierre, qui a un tube de cuivre monté à force sur son arbre central

Un autre type de foreur de pierre égyptien - un cône tronqué inversé avec deux fentes coupées l'une en face de l'autre dans la surface horizontale supérieure - était utilisé pour façonner l'embouchure d'un récipient; il y a un foreur de cône non catalogué avec des découpes similaires dans la collection Petrie. Comme mentionné précédemment, les outils en silex et en chert en forme de croissant, également engagés par des arbres fourchus, étaient utilisés exclusivement pour couper des pierres tendres, comme le gypse, sans sable abrasif. En utilisation prolongée, les fourches des outils reconstruits ont montré de l'usure.²⁶Un arbre fourchu usé pourrait être remplacé simplement en en attachant un nouveau à l'arbre central, un peu comme un foret est changé dans une perceuse électrique moderne. Comme la destruction d'un *fourchu central* l'arbre aurait rendu l'ensemble de l'outil inutile, il a peut-être évolué à partir de cette configuration d'origine. Un puits central muni d'un tube et de poids a probablement duré de nombreuses années.

L'outil des forages préliminaires aurait eu un tube de cuivre emmanché à force sur son fût central (figure 5.7). Certaines illustrations de tombes peuvent afficher un puits central équipé d'un tube, qui est utilisé pour percer des trous adjacents dans des vaisseaux à large ouverture pour retirer la masse centrale.²⁷Il est probable que l'outil de forage n'ait pas changé de forme, à l'exception de la manière dont il était lesté ; une perceuse tubulaire n'aurait pas endommagé son arbre en bois lors de son utilisation, et une succession de nouveaux tubes pourrait être installée sur le même arbre à maintes reprises.

Plusieurs archéologues ont exprimé des opinions sur l'utilisation d'une perceuse tubulaire pour percer des récipients en pierre. WMF Petrie a déclaré que l'intérieur d'un vase en pierre a été dégagé par un foret tubulaire de la taille de la bouche.²⁸E Quibell a observé que des forets cylindriques étaient utilisés dans la fabrication de vases et que des noyaux de diorite et de granit ont été trouvés, ainsi que des extrémités de trous de forage dans l'albâtre.²⁹GA Reisner a proposé une connexion entre un foret tubulaire en cuivre et l'outil qui l'entraînait. Il dit, en écrivant sur les tubes de cuivre, que le tube peut avoir été lesté avec des pierres et travaillé par une manivelle.³⁰Alfred Lucas est également d'accord avec la suggestion d'installer un tube sur un outil dédié à la fabrication de vases.³¹

Dix représentations funéraires de l'outil de forage/alésage ont été identifiées. Représenté sur un relief calcaire de la Cinquième Dynastie d'une tombe à Saqqarah³²est un travailleur seul debout qui utilise l'outil. Il a deux gros poids, attachés par une corde à l'arbre. L'arbre inférieur entrant dans le vaisseau semble être relié à l'arbre central par un bâton placé obliquement, qui passe à travers un collier. Dans la tombe de Ti de la cinquième dynastie à Saqqarah³³sont deux artisans qui creusent des vases de formes tout à fait différentes. Chaque navire nécessite un élargissement interne à un moment donné. Les poids sont indistincts. Incorporées dans la scène sont deux représentations d'un seul arbre fourchu en prise avec un foreur en forme de huit, représenté en élévation latérale. Les poids de pierre sont contenus dans des filets, probablement faits de ficelle.

Dans la tombe de Mererouka de la sixième dynastie à Saqqarah,³⁴deux ouvriers accroupis sont représentés en train de creuser des récipients de formes différentes. Chaque outil de forage a deux poids. Le travailleur de gauche saisit l'arbre central au-dessus et au-dessous des poids, perçant éventuellement une série de trous dans le récipient pour affaiblir sa masse centrale. Le foreur droitier saisit la poignée avec la main gauche. L'ensemble de cet outil, au-dessous des poids, est dans le vase de pierre. Une représentation dans la tombe d'Aba de la sixième dynastie



Figure 5.8 Une illustration de l'outil de forage dans la tombe-chapelle de la douzième dynastie du fils d'Ukh-hotp, Senbi, à Meir. (Avec l'aimable autorisation de l'Egypt Exploration Society)

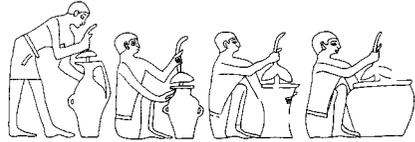


Illustration 5.9 Une représentation de l'outil de forage dans la tombe de Pepionkh de la XIIe dynastie à Meir. (Avec l'aimable autorisation de l'Egypt Exploration Society)

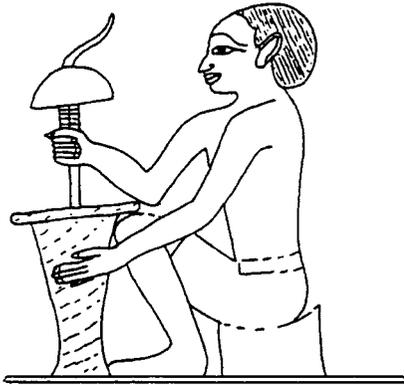


Illustration 5.10 Représentation de la XVIIIe dynastie d'un foreur assis creusant un récipient en calcite. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rê ' à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LIV. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)



Illustration 5.11 Représentation d'un foreur assis dans la tombe de Nebamun et Ipuky de la XVIIIe dynastie à Thèbes. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau des deux sculpteurs à Thèbes*, New York, 1925, pl. XI. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

à Deir el Gebrawi³⁵ montre un artisan debout tenant un outil à deux mains, au-dessus et au-dessous des deux poids.

Dans la tombe-chapelle de la douzième dynastie du fils d'Ukh-hotp, Senbi, à Meir³⁶ est une illustration de deux ouvriers accroupis creusant des récipients en pierre (figure 5.8). L'outil de gauche semble posséder un poids placé au centre, mais dans la tombe de Pepionkh à Meir,³⁷ également de la XIIe dynastie, deux artisans utilisent des outils munis de deux poids en pierre. Cependant, deux autres travailleurs sont illustrés dans la même scène utilisant chacun un outil muni d'un seul poids de pierre hémisphérique (figure 5.9). Cette scène indique un changement important dans la conception de l'outil.

Le tombeau de la XVIIIe dynastie de Rekhmire à Thèbes³⁸ représente un foreur assis creusant un récipient de calcite (Figure 5.10). L'outil est saisi sous le poids de pierre unique et hémisphérique avec la main droite, tandis que l'autre main stabilise le



Figure 5.12 Une illustration de deux ouvriers dans la tombe de Puyemre de la XVIIIe dynastie à Thèbes. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Puyemrê à Thèbes*, New York, 1922, vol. Je, pl. XXIII. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)



Figure 5.13 Un ouvrier debout représenté dans la tombe d'Aba de la vingt-sixième dynastie à Thèbes. (Avec l'aimable autorisation de l'Egypte Société d'Exploration)

navire. Bien que l'artiste de la tombe ait commis une erreur en dessinant la main droite de l'artisan, il est destiné à montrer que la main de l'ouvrier saisit le manche le plus long, qui est attaché à un manche plus court sur lequel le poids est fixé. La tombe de deux sculpteurs de la XVIIIe dynastie à Thèbes³⁹ représente un foreur assis creusant également une cuve de calcite (figure 5.11) ; l'artisan est obligé de saisir la poignée à deux mains car le poids de pierre hémisphérique est proche de la surface supérieure du vase. Dans la tombe de la XVIIIe dynastie de Puyemrê à Thèbes,⁴⁰ deux opérateurs tordent des outils, qui possèdent tous deux un seul poids central (figure 5.12).

Enfin, dans la tombe d'Aba à Thèbes de la vingt-sixième dynastie,⁴¹ un artisan debout perce un récipient (figure 5.13). L'outil possède à nouveau deux poids et l'ouvrier saisit à deux mains le long manche sous les poids.

Analyse des preuves picturales

Les témoignages des hiéroglyphes et des représentations funéraires montrent clairement que l'outil de forage a été utilisé au moins de la IIIe à la Vingt-sixième dynastie. L'arbre de forage central était rond, ayant été fabriqué à partir d'une branche d'arbre appropriée. La partie supérieure effilée et inclinée, ou poignée, de l'arbre central semble correspondre à l'angle et à la forme d'une branche qui pousse à partir d'une tige plus grande, cette tige agissant comme l'arbre central. La tige principale a été coupée juste au-dessus de la tige ramifiée et lissée. Le fût fourchu, réalisé à partir d'une branche en raccourcissant à parts égales les deux tiges formant la fourche, était inversé avant de l'arrimer au fût central de l'outil.

Les preuves de la tombe montrent une nette progression de la perceuse de l'Ancien Empire, lestée de deux pierres ou sacs de sable, à la période de l'Empire du Milieu, où des perceuses à deux poids sont utilisées aux côtés de perceuses à une seule pierre hémisphérique.

Le poids unique a peut-être été utilisé exclusivement pendant la période du Nouvel Empire, mais sous la vingt-sixième dynastie, qui a vu un renouveau de la culture de l'Ancien Empire, deux poids ont été adoptés une fois de plus. Il est évident que le foret devait être lesté et équilibré, mais il est également clair que les poids étaient situés près du sommet de l'outil pour lui permettre de pénétrer profondément dans un vaisseau.

L'outil de forage a été étudié par RS Hartenberg et J. Schmidt, Jr. en 1969.⁴² Ils ont conclu que l'outil tournait dans une direction et que la poignée était utilisée comme une sorte de manivelle. Leurs essais ont été effectués sur un tube coudé lesté de deux briques maison. Cependant, les tests actuels, sur des outils reconstruits à partir de matériaux utilisés par d'anciens artisans, démontrent que non seulement une action rotative continue fait osciller la perceuse de manière alarmante, mais qu'elle est difficile à exécuter et, en fait, à contrôler pour un humain. Les poids de pierre volent vers l'extérieur et augmentent l'action d'oscillation. Une telle utilisation de l'outil doit causer de graves dommages à tout vaisseau, sans parler de l'effilement extrême des noyaux et du trou lorsqu'il est utilisé avec un foret tubulaire. Ceci est en contradiction avec les preuves archéologiques de noyaux et de trous à côtés parallèles dans des vaisseaux anciens. Cette utilisation proposée de l'outil doit être fermement rejetée.

Les expériences ont clairement démontré que les poids de l'outil servaient à placer une charge sur les forets tubulaires, les foreurs de pierre ou les foreurs à silex / chert en croissant, et que l'outil était d'abord tordu dans le sens des aiguilles d'une montre, puis dans le sens inverse des aiguilles d'une montre jusqu'à sa position de départ. Aucune autre action ne produit des carottes à côtés parallèles avec des forets tubulaires. Les tombes de Mereruka et d'Aba (VIe dynastie) représentent toutes deux un ouvrier tenant la poignée au-dessus et au-dessous des poids. Cette prise est la manière la plus confortable de tordre et de tordre l'outil, mais les expériences montrent que toutes les autres méthodes décrites d'utilisation de l'outil sont efficaces pour le faire fonctionner.

Les preuves picturales, archéologiques et expérimentales confirment donc que cet ancien outil était utilisé comme *combiné* outil de perçage et d'alésage. Les tests indiquent que l'outil a d'abord été utilisé sur un récipient en pierre avec un arbre central équipé d'un tube en cuivre et, plus tard à l'époque dynastique, un tube en bronze, qui a été tordu dans le sens des aiguilles d'une montre, puis dans le sens inverse des aiguilles d'une montre jusqu'à sa position de départ. Compte tenu de son mode opératoire réel, l'outil a été nommé Twist/Reverse Twist Drill (TRTD), le qualifiant de "foret", même si son autre fonction était de percer.

La vitesse à laquelle chaque torsion et torsion inverse de l'arbre se produit est améliorée par le foret possédant un poids unique situé au centre, plutôt qu'avec deux poids liés de chaque côté de l'arbre. Il convient de noter ici que le nom du foret hélicoïdal/hélicoïdal/inversé se réfère uniquement à l'arbre de forage central, à l'arbre fourchu arrimé et au(x) poids de pierre. Des forets tubulaires, des perceuses à pierre de différentes formes et des croissants en silex sont des pièces jointes à cet outil. Toutes les représentations funéraires montrent que les récipients en pierre ont toujours été sculptés pour former *avant de* le forage et l'alésage ont commencé, et cette procédure a été suivie pour fabriquer le vase expérimental en forme de tonneau.

Un outil de fixation pour perceuse hélicoïdale/inversée

Le foreur de pierre en forme de huit était un élément clé du TRTD. Un exemple clair de ce type de forage peut être vu dans un pot de canard en calcite translucide de la XII^e dynastie (MM 5341), scié verticalement, trouvé par E. Mackay dans la pyramide sud de Mazghuneh (figures 5.14, 5.15). Les marques ennuyeuses non lissées dans une moitié du pot sont efficacement éclairées par l'éclairage de la vitrine qui brille doucement à travers la pierre. Le récipient complet mesurait 46 cm de haut, 24 cm de diamètre à son point le plus large et 11,5 cm de diamètre à son embouchure. L'artisan n'a pas été en mesure, en raison de la profondeur interne du navire et du diamètre étroit du col, de lisser les arêtes entre les rainures de forage laissées par l'utilisation de foreurs successivement plus longs et plus courts en forme de huit.

Un récipient en granit prédynastique inachevé et sans provenance au musée de Liverpool, au Royaume-Uni, illustre davantage cette technique. Ce vase sphéroïdal aplati (Liverpool Museum 1973.1.199) semble avoir été percé à mi-chemin et le trou agrandi par la suite avec des perceuses à main, celles-ci étant utilisées conjointement avec du sable abrasif. Cet élargissement, directement sous les épaules, a probablement été préparé pour l'admission du premier foreur en forme de huit. Le problème de la sous-cotation d'un trou cylindrique dans un vase à col étroit a été mentionné par Petrie. Il a identifié deux foreurs de grès, utilisés avec du sable, pour percer l'intérieur des vases. La forme en sablier de l'un d'entre eux a permis



Illustration 5.14 Un pot de canard en calcite translucide de la douzième dynastie (MM 5341), trouvé dans la pyramide sud de Mazghuneh. (Avec l'aimable autorisation du Manchester Museum, l'Université de Manchester)

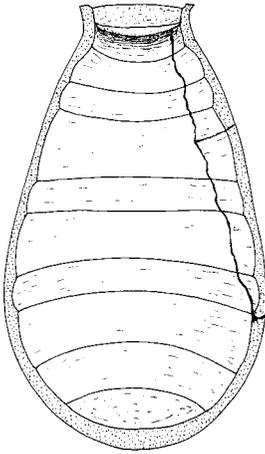


Figure 5.15 Un dessin du Duck Jar, montrant les grandes rainures faites par les foreurs de pierre en forme de huit (d'après MM 5341). (Avec l'aimable autorisation du Manchester Museum, l'Université de Manchester)

il doit être glissé verticalement à travers un col, puis tourné à plat pour percer un trou plus large. Il était entraîné en rotation par un bâton fourchu tenant la partie contractée.⁴³ De plus, il doit y avoir eu une série de telles meuleuses de longueurs croissantes.⁴⁴

Tous les ouvriers n'étaient pas prêts à accepter les difficultés d'élargir un vaisseau de pierre sous le col. Une évansion de la difficulté a commencé dans la première dynastie en faisant un vase en deux moitiés.⁴⁵ La moitié inférieure a été percée et finie à la verticale, tandis que la moitié supérieure a d'abord été percée à la verticale, mais ensuite élargie dans une position à l'envers. Les moitiés ont ensuite été collées ensemble. Cette technique fut également adoptée sous la XII^e dynastie.

Forets hélicoïdaux/inversés reconstruits

Les TRTD reconstruites ont été fabriquées à partir de branches d'arbres appropriées, qui avaient été laissées sécher. L'écorce a d'abord été enlevée avec un grattoir en silex. Chaque branche a été adaptée en coupant la tige centrale au-dessus de l'endroit où elle s'est fourchue; la partie restante a été sciée à longueur et taillée en cône. Les TRTD suivants et les pièces jointes qui les accompagnent ont été fabriqués pour une utilisation expérimentale.

Au total, dix TRTD ont été équipés de foreuses tubulaires. Tous ces outils étaient lestés de deux pierres (figure 5.16), à l'exception d'un fût TRTD de 3 cm de diamètre (figure 5.17), qui était muni d'une seule pierre lestée (d'après les représentations funéraires de la XVIII^e dynastie). Le poids a été percé à travers son axe vertical avec un tube fixé à un autre TRTD, le poids fini étant ajusté pour être ajusté en force sur l'arbre de forage, juste sous la poignée inclinée. Deux TRTD de test ont établi les procédures de travail, les taux de coupe et le rapport du métal usé d'un tube de forage à la quantité de pierre forée. L'un d'eux était équipé d'un tube en cuivre, l'autre d'un tube en bronze (90 % cuivre, 10 % étain). Le diamètre externe de chaque tube de forage mesurait 2,8 cm et chaque arbre était



Figure 5.16 Un TRTD reconstruit, lesté de deux pierres, entraînant une perceuse tubulaire en cuivre



Figure 5.17 Un TRTD reconstruit, équipé d'un seul poids en pierre



Figure 5.18 Un tube de forage en cuivre coulé de 7 cm de diamètre, monté à l'extrémité inférieure d'un puits central TRTD



Figure 5.19 Un TRTD, équipé d'un arbre fourchu, entraînant un foreur de pierre

lesté de deux pierres. Le tube de forage de plus petit diamètre fabriqué dans toute la série était de 2,2 cm, le plus grand étant coulé à un diamètre de 7 cm (Figure 5.18).

Trois TRTD étaient équipés d'arbres fourchus arrimés (figures 5.19, 5.20) ; ils ont enfoncé un croissant de silex et deux foreurs de pierre en forme de huit. Les plus petits poids de pierre, pour les plus petits TRTD, étaient suspendus dans des filets grossiers tricotés à partir de ficelle. Les plus gros poids de pierre du TRTD, pesant chacun 3 kg, étaient fixés avec des cordes positionnées dans des rainures creusées dans les pierres (voir Figure 5.21).

Les tests de forage hélicoïdal/inversé⁴⁶

Les trous tubulaires produits par des tubes à arc dans de grands artefacts en pierre dure sont de forme presque circulaire, mais les difficultés de fabrication de récipients en pierre à parois minces excluaient cette technique. Il a été constaté que les contraintes mécaniques imposées aux minces parois de pierre par les forces giratoires lors du forage en arc rompent le navire. De plus, le mouvement de va-et-vient d'un arc a fait que le sable piégé à l'extérieur du tube a élargi le trou vers la paroi externe du navire, en particulier dans les pierres plus tendres; les navires anciens étaient toujours façonnés avant les opérations de forage et de forage et, de toute évidence, l'allongement du trou aurait signifié la défaillance de chaque navire.

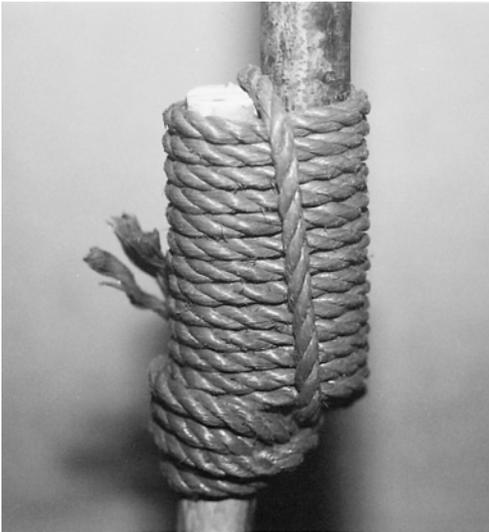


Illustration 5.20 Gros plan d'un arbre fourchu solidement attaché à un arbre central

Lors des tests, il était préférable de tourner d'abord l'outil dans le sens des aiguilles d'une montre, d'environ 90°, puis dans le sens inverse des aiguilles d'une montre jusqu'à sa position de départ (Figures 5.21, 5.22). Une main saisit la poignée inclinée et effilée ; l'autre main saisit l'arbre central, juste en dessous des poids. La poignée incurvée s'adapte parfaitement à la main semi-fermée, et doit avoir été choisie et sculptée à cet effet. Une fois que les mains saisissent confortablement la poignée et le manche, elles ne sont plus déplacées de cette position, sauf pour se reposer ou pour renouveler le sable abrasif. Cette remarque ne s'applique qu'aux forets tubulaires et aux tarières circulaires qui, même en rotation partielle, découpent la pierre sur toute leur circonférence. Le mouvement de torsion/torsion inverse a produit des noyaux avec des côtés parallèles. En utilisant un foreur de pierre en forme de huit et un foreur en croissant, après une torsion complète dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, afin de broyer la pierre uniformément sur toute la circonférence d'un récipient.

L'action torsion/contre-torsion est confortable et, une fois les muscles du bras et de la main adaptés à ce type de travail, non fatigante pour l'opérateur ; le forage d'essai continu a été effectué pendant plusieurs heures sans aucun effet néfaste. Les aspects physiologiques des durées prolongées passées à tordre le TRTD ont démontré une utilisation considérable de la musculature de l'avant-bras. La partie supérieure du bras et les muscles de l'épaule sont également renforcés. En particulier, chaque main et poignet reçoit un régime de punition qui sert à augmenter l'action de préhension normale de la main. Cependant, des années de ce travail ont probablement causé une certaine forme de microtraumatismes répétés aux ouvriers des navires en pierre. Les scènes de tombes montrent la plupart des ouvriers assis près du point de forage. Ils doivent constamment avoir inhalé des quantités considérables de poussière fine dans leurs poumons. Foreurs de vaisseaux de pierre anciens,



Figure 5.21 Une torsion dans le sens des aiguilles d'une montre d'un grand arbre de forage



Illustration 5.22 Une torsion dans le sens inverse des aiguilles d'une montre d'un grand arbre de forage

Le volume de calcaire tendre retiré du vase en forme de tonneau par les tubes de forage de 4 cm et de 2,2 cm de diamètre était d'environ 6 cm³/heure chacun. Le taux volumétrique d'enlèvement de pierre reste à peu près constant pour n'importe quel tube de forage de diamètre. Les tubes de plus grand diamètre, possédant une plus grande surface de contact avec la pierre à leurs extrémités, ne peuvent pas être tordus à une vitesse similaire aux tubes de plus petit diamètre. La raison en est une augmentation nécessaire du poids sur les tubes de plus grand diamètre, qui à son tour provoque une augmentation consécutive de l'inertie, ainsi qu'une augmentation proportionnelle du frottement entre le tube de cuivre et le sable abrasif. Cela conduit à une fatigue accrue de l'opérateur et, bien que théoriquement plus de pierre devrait être forée du trou par une face d'extrémité de tube de forage possédant une plus grande surface de contact, un ralentissement naturel des actions de torsion/torsion inverse a lieu, et cela maintient le volume de pierre retiré est similaire pour chaque tube de forage de diamètre.

Le taux de coupe TRTD pour le granit et la diorite était de 0,4 cm³/heure, alors que la cadence du tube propulsé par l'étrave équivalait à 2 cm³/heure. Le taux de coupe TRTD pour la calcite

était de 6 cm³/heure, la cadence du tube propulsé étant de 30 cm³/heure. Ainsi, les essais TRTD ont démontré que ce type de forage est cinq fois plus lent que le forage tubulaire à l'arc dans l'ensemble des pierres testées.

Fabrication de vases en pierre dans l'ancienne Mésopotamie

Les expériences avec le *propulsé par l'arc* des tubes de cuivre indiquaient qu'il était probablement extrêmement difficile d'utiliser un arc pour enfoncer un foreur de pierre en forme de huit. Afin d'étudier cette possibilité, un foreur en forme de huit et un foreur circulaire ont été testés par cette méthode. Chaque foreur d'essai a été admis dans un trou préalablement préparé, qui imitait l'intérieur d'un récipient en pierre partiellement foré.⁴⁷ Un arbre fourchu engageait tour à tour chaque alésoir. Le foreur en forme de huit s'est immédiatement coincé dans le trou, principalement en raison d'un frottement massif entre le foreur et le sable abrasif. Cependant, on soupçonne que cela a été exacerbé par une force centrifuge déséquilibrée agissant sur une extrémité du foreur lorsque la corde d'arc a commencé à le tordre, forçant l'outil dans la paroi du trou. Des problèmes de virage sont survenus avec le foreur circulaire; dans ce cas, le frottement encore plus élevé induit par le sable a fait glisser la corde d'arc sur l'arbre fourchu. Les expériences ne supportent pas la conduite des foreurs de pierre mésopotamiens avec un arbre fourchu entraîné par un arc.

Les représentations égyptiennes de l'outil de forage et d'alésage des vaisseaux de pierre montrent son extrême simplicité de forme ; nulle part dans les représentations égyptiennes de la production de vases en pierre, l'artiste ancien n'a jamais montré un foreur de pierre entraîné avec un arc. En fait, les artistes des tombes n'ont jamais montré de perceuse tubulaire entraînée par un arc, bien que l'utilisation de tubes entraînés par un arc ait dû être bien connue. Les expériences ont démontré que la technique de torsion/torsion inverse fournissait la seule méthode satisfaisante qui *quelconque* ancien vaisseau de pierre artisan aurait pu utiliser pour conduire les forêts tubulaires et foreurs de pierre. En particulier, le foreur de pierre en forme de huit ne peut être entraîné qu'avec l'effet de levier et le contrôle du foret hélicoïdal / inversé, et la découverte de tels foreurs en Mésopotamie indique l'utilisation d'une certaine forme de cet outil.

Fabrication d'un vase en forme de tonneau en calcaire⁴⁸

Le vase expérimental a été sculpté dans un bloc brut de calcaire tendre avec de grandes et petites herminettes en cuivre, des ciseaux en cuivre plats et transversaux, un maillet, des ciseaux en silex, des poinçons et des grattoirs et des caoutchoucs en grès. Aucune mesure définie n'a été respectée, la forme du vase étant obtenue en agissant sur des jugements intuitifs. Les épaulés d'un vase en forme de tonneau sont plus larges que son fond plat ; il était logique d'aligner la surface de base plus étroite directement sous le centre de la surface supérieure projetée et d'assurer le parallélisme entre elles. Les surfaces supérieure et inférieure ont été finies avant toute autre mise en forme.

La mise en forme initiale des côtés courbes a maintenant commencé (Figure 5.23). Des herminettes en cuivre ont été utilisées pour rogner le calcaire du haut vers le bas. Cependant, une lame de silex tenue à la main en forme d'herminette aurait également pu être utilisée pour



Figure 5.23 Façonner l'extérieur du vase en pierre d'essai



Figure 5.24 Tailler le col du vase avec un grattoir en silex



Figure 5.25 L'extérieur fini du vase

cette opération : si ce vase avait été fabriqué en granit ou en porphyre, des ciseaux et des poinçons en silex auraient été utilisés pour ébrécher la pierre. Au cours de cette mise en forme, une vérification constante de la relation entre les surfaces supérieure et inférieure et les côtés courbes est devenue nécessaire. La deuxième phase de la forme du tonneau pouvait maintenant commencer. À l'aide de petits ciseaux en cuivre, d'un maillet et de grattoirs en silex



Illustration 5.27 La rainure ciselée et grattée dans la surface supérieure du vase, pour localiser un tube de cuivre prêt à être percé



Figure 5.28 Deux trous tubulaires forés sur le même axe dans le calcaire, démontrant la noyau tubulaire ainsi formé

du tout; ses côtés intérieur et extérieur sont parfaitement parallèles. Petrie a osé l'opinion que le noyau provenait d'un trou agrandi dans le basalte; un petit trou avait été creusé et trouvé trop petit, puis un trou plus grand a été fait, détachant un tube de basalte.⁴⁹ Une interprétation différente peut être présentée pour expliquer sa forme. Il est possible que le petit trou, après le retrait de la carotte solide laissée par le foret tubulaire plus petit, ait été délibérément agrandi, réduisant le risque de rupture d'un vaisseau en essayant de retirer une carotte solide plus grosse (Figure 5.28). L'utilisation de cette technologie dans le



Illustration 5.29 Perçage du vase avec un tube de cuivre de 4 cm de diamètre

vase expérimental a montré que le noyau de forme tubulaire se brise lors du retrait; la pierre tendre est susceptible de se fracturer facilement. Mais la pierre dure, comme le basalte, peut parfois avoir survécu intacte à l'enlèvement. Les deux extrémités du tube de basalte Petrie Collection sont plates. On aurait pu s'attendre à ce que le tube possède une extrémité dentelée, là où il était sorti du trou. Néanmoins, il existe des noyaux solides dans la collection Petrie qui ont des extrémités aplaties et polies⁵⁰, bien que le but de cela ne soit pas clair. Cependant, l'âme tubulaire aurait pu être percée à travers la partie supérieure d'un vase étant fabriqué en deux pièces ; cela expliquerait que chaque extrémité soit plate.

Il existe d'autres preuves de l'utilisation de forets tubulaires de diamètres différents sur le même axe. Petrie mentionne un œil en marbre pour incrustation, réalisé avec deux forages en tube, l'un dans l'autre, montrant l'épaisseur des petits forets.⁵¹ Cette technique était probablement utilisée régulièrement par les ouvriers égyptiens pour la production de vases en pierre. L'enlèvement soigneux de chaque noyau successif améliore la réussite d'un récipient en calcite cassante, sans parler des pierres plus dures utilisées par les artisans égyptiens.

Le vase expérimental a ensuite été foré à une profondeur de 3,5 cm avec les forets tubulaires de 4 cm et de 2,2 cm de diamètre (Figures 5.29, 5.30). Les noyaux ont été soigneusement retirés avec un maillet et un ciseau en cuivre. Des morceaux de l'âme solide ont été retirés en premier, suivis de l'âme tubulaire (Figures 5.31, 5.32). Les doux coups de maillet étaient dirigés vers le centre du vase. D'autres travaux expérimentaux avec le plus petit

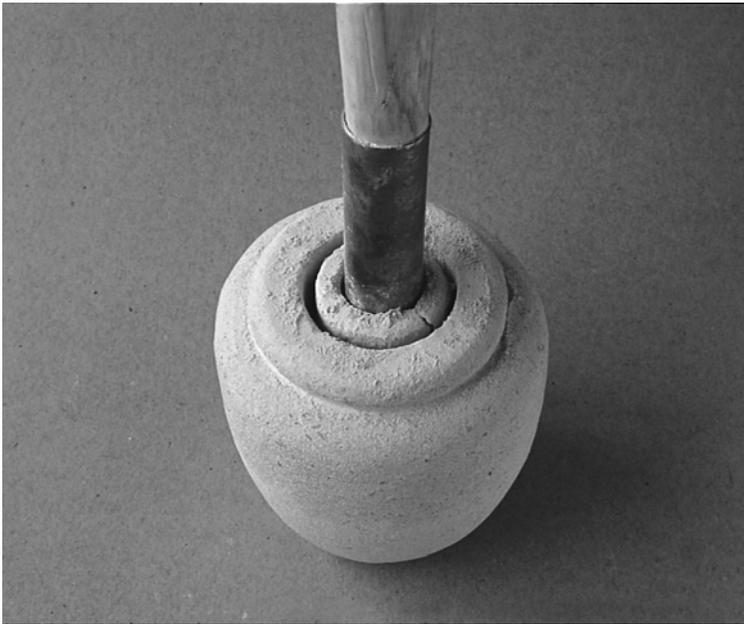


Illustration 5.30 Affaiblissement du noyau avec un foret tubulaire de plus petit diamètre

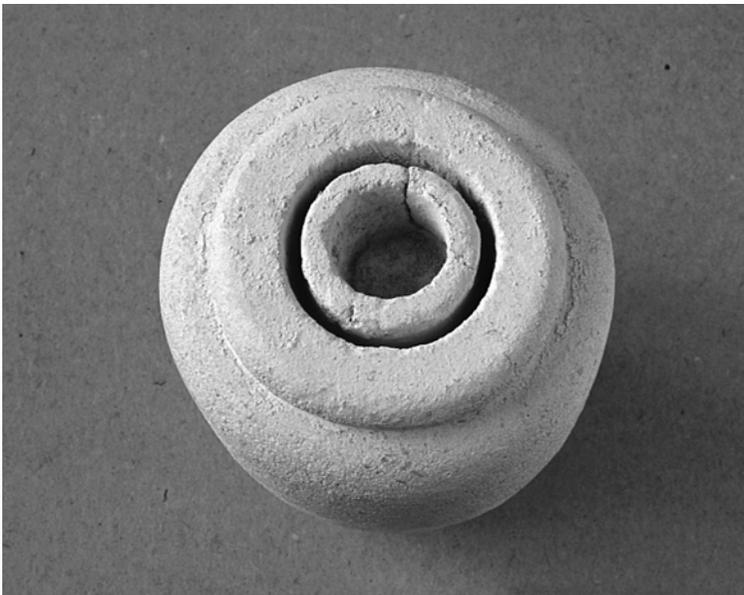


Illustration 5.31 Le retrait du petit noyau solide a précédé la rupture du tube
noyau de pierre



*Illustration 5.32*Le noyau tubulaire est maintenant retiré

des forets tubulaires sur certains spécimens de grès et de calcaire ont montré que les forces de torsion / torsion inverse, exercées sur un noyau de pierre mince par la poudre de sable finement broyée emprisonnée entre le noyau et la paroi intérieure du foret, l'ont fait se fracturer à sa base. On a pris soin d'éliminer toutes les forces latérales agissant sur le noyau au cours de ces essais. Le tube entraîné par torsion / torsion inverse peut également, très soigneusement, être forcé d'un côté pour casser un noyau mince. La seule autre alternative est avec un coin. Cependant, bien que cette technique ait été utilisée pour le forage des sarcophages (voir chapitres 4 et 6), un coin utilisé pour casser une carotte dans un vaisseau pouvait la casser. Un mortier de calcite cassé (UC 16038) a peut-être subi un tel sort, bien que ce mortier ait pu être foré avec un tube à arc ; le noyau est conique.⁵²

Le vase nécessitait maintenant une coupe au niveau des épaules, puis un évidement pour suivre sa forme extérieure. Il y a plusieurs façons d'y parvenir dans les temps anciens. Tout d'abord, percez complètement le vase jusqu'au fond, puis percez le reste de la pierre avec des foreurs de pierre en forme de huit. Deuxièmement, percez le vase à un point juste en dessous de l'épaule et introduisez un premier foret en forme de huit pour forcer une coupe latérale. Ce premier alésoir serait légèrement plus long que le diamètre du foret tubulaire ; l'utilisation de grattoirs en silex pour gratter une légère rainure dans la paroi du trou aiderait à l'introduction de ce premier foreur en forme de huit. Chaque foreur en forme de huit successivement plus long augmenterait encore la sous-cotation à un point où la pénétration vers le bas devenait nécessaire.

jusqu'à ce que la profondeur finale soit atteinte. Cependant, des grattoirs en silex et des foreurs à main peuvent avoir été utilisés exclusivement pour saper les épaules avant que le premier foreur en huit ne soit admis. Au fur et à mesure que les premiers foreurs courts en forme de huit approfondissaient cette contre-dépouille initiale, des foreurs successivement plus longs et plus longs pouvaient être logés. Cette technologie proposée suit les techniques initiales apparentes employées dans le vase inachevé du Liverpool Museum.



Illustration 5.33 Gratter une rainure sous l'épaule du vase, avec un outil en silex en forme de crochet



Figure 5.34 La rainure prête à admettre un foreur

Troisièmement, percez le vase jusqu'à un point situé juste en dessous des épaules, puis n'utilisez que des alésoirs en forme de huit de plus en plus grands jusqu'à ce que le fond soit atteint. Cette méthode n'est pas étayée par les stries observées sur les foreurs en forme de huit existants, qui se trouvent sous les extrémités des foreurs, et non sous leurs parties centrales. Cela indique que de tels foreurs étaient toujours utilisés pour élargir un trou existant. La deuxième alternative a été choisie pour ce vase particulier, même si les méthodes doivent être revues en tenant compte des formes et des pierres des autres vases.

Une rainure était maintenant grattée avec un grattoir en silex tenu à la main en forme de crochet autour de la circonférence interne du vase à une profondeur de 2 cm (Figures 5.33, 5.34). Un premier foreur en forme de huit, légèrement plus long que le diamètre du trou de 4 cm, a été glissé dans le sens de la longueur, c'est-à-dire avec son grand axe vertical, dans le trou, et amené à une position presque horizontale (Figures 5.35, 5.36). Une extrémité du foreur était située dans la rainure raclée. Il y a une différence avec les récipients oblongs de forme sphéroïdale, où le diamètre interne d'un vase est considérablement plus grand que sa hauteur. Un long foreur en forme de huit n'aurait pas pu être admis verticalement et tourné en position horizontale. Cependant, la taille inhabituellement grande de la bouche signifiait qu'un travailleur pouvait admettre un gros foreur à main, et c'était peut-être la manière dont ce type de vase était meulé à l'intérieur.



Figure 5.35 Un arbre fourchu engageant l'un des alésoirs en huit utilisés pour agrandir la forme bulbeuse du vase



Figure 5.36 La perceuse en forme de huit engagée dans la rainure

Le vase en calcaire était maintenant rempli de sable sec abrasif jusqu'au niveau du foreur, et un arbre fourchu s'y engageait. Des actions graduelles de torsion et de torsion inverse, ainsi qu'une nouvelle prise toutes les quelques torsions, ont permis au foreur de s'installer dans une position complètement horizontale (Figure 5.37). La rainure grattée a encore été coupée latéralement et vers le bas par ces actions. L'abrasif de sable sec a lentement érodé l'intérieur du vase, ainsi que la pyrale. De temps en temps, la poudre de sable était versée hors du vase et des fournitures fraîches admises.

Les vases antiques étaient probablement maintenus par friction dans une douille creusée dans un banc de terre, ou dans le sol. Des douilles de banc en terre ont été trouvées dans un ancien atelier de broyeur de vase à Hierakonpolis par Quibell et Green,⁵³ bien que leur illustration montre un broyeur de vase dans une douille en terre. Toutes les représentations funéraires représentent des vases de pierre debout sans support ; les conventions dans le dessin des tombes ont peut-être ignoré la véritable méthode de fixation des vaisseaux pour les percer et les percer.

Parfois, des artisans sont représentés en train de stabiliser le vase d'une main. Dans la tombe-chapelle de la douzième dynastie du fils d'Ukh-hotp, Senbi, à Meir, un foreur dit à un autre ouvrier : observez-vous que cela *mnhwn* reste pas stable sans sa gomme?⁵⁴ Le foreur qui fait la déclaration tient une poignée TRTD dans la main droite et le vase dans la main gauche. L'ouvrier suggère peut-être que le récipient en pierre soit immobilisé pendant les travaux de forage.

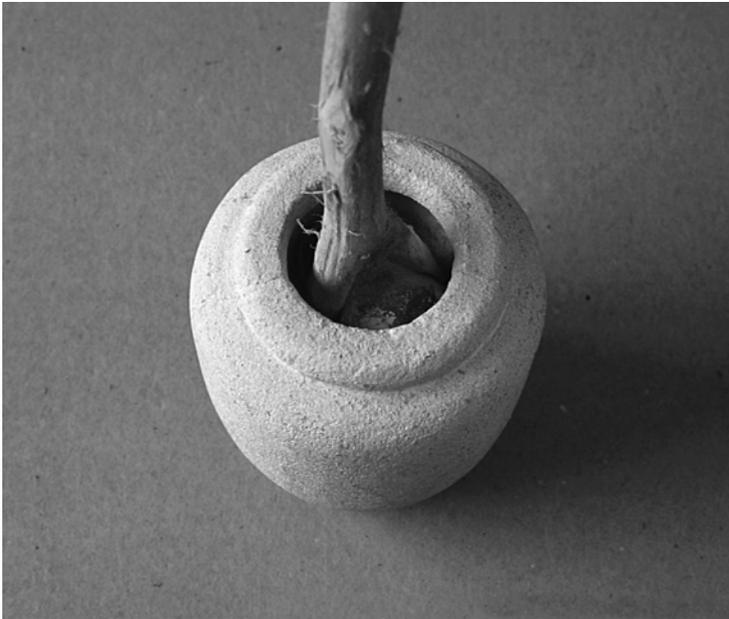


Illustration 5.37 Creuser le vase, avec le foreur de pierre en position horizontale

Le forage tubulaire s'est poursuivi jusqu'au fond du vase d'essai, après quoi les carottes ont été retirées. Des foreurs en huit terminaient l'évidement du vase. Une série de crêtes surélevées, ou cuspidés, ont été créées à mesure que chaque foreur successif creusait une rainure dans la paroi du vase. Ceux-ci ont été lissés par de longs caoutchoucs de grès tenus à la main, le fond étant lissé avec un foreur de pierre arrondi, utilisé avec du sable abrasif. Il est probable qu'un ancien travailleur de navires en pierre ait rassemblé de nombreux foreurs de pierre de différentes formes et tailles au cours d'une vie de travail. Tout comme un forgeron moderne conserve n'importe quel outil spécial pour une éventuelle utilisation future, de nombreux foreurs dans les anciennes collections d'outils auraient été conservés à cette fin. Le diamètre intérieur maximum du vase mesurait 8 cm, son diamètre minimum étant de 5,5 cm, avec un diamètre d'embouchure de 4,5 cm et une profondeur de 10 cm (Figures 5.38, 5.39). Le temps total de fabrication était de 227 heures.

Discussion

La première preuve historique du TRTD vient de la Troisième Dynastie. La dernière scène datée montrant l'outil date de la vingt-sixième dynastie, la tombe d'Aba à Thèbes, mais il est raisonnable de supposer que le TRTD a été utilisé jusqu'à la fin de l'histoire dynastique. L'augmentation rapide de la production de vases en pierre au cours de la période Nagada II et la preuve de la capacité des artisans à fabriquer des tubes de cuivre sont de bonnes raisons de suggérer que cette augmentation de la production de vases en pierre était le résultat direct de l'assemblage du tube de cuivre au tube de cuivre. TRTD. Il est probable, par conséquent,



Illustration 5.38 Les outils utilisés pour percer et percer le vase

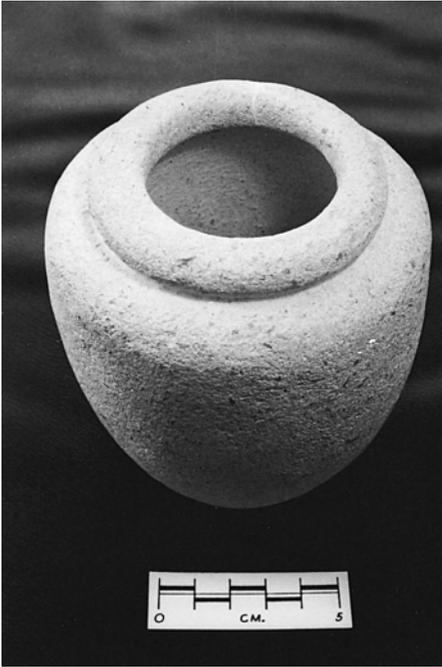


Illustration 5.39. L'intérieur du vase fini

que le TRTD, avec ses deux rôles de forage tubulaire et de forage de pierre, a commencé à être utilisé pendant la période Nagada II.

Remarques

- 1 G. Caton-Thompson et EW Gardner, *Le Fayoum du désert*, Londres : Le Royal Anthropological Institute of Great Britain and Ireland, 1934, pp. 105, 131, pls. LXVIII, 1-25, LXIX, 1-12.
- 2 CM Firth, JE Quibell et J.-P. Lauer, *La pyramide à degrés*, Le Caire : Imprimerie de l'Institut Français d'Archéologie Orientale, 1935-6, vol. I, p. 124, 126, vol. II, svp. 86 (6), 93 (1-2).
- 3 DA Stocks, 'Interrelations techniques et matérielles : implications pour le changement social dans l'Égypte ancienne', dans W. Wendrich et G. van der Kooij (eds) *Moving Matters: Ethnoarchéologie au Proche-Orient. Actes du Séminaire international tenu au Caire, 7-10 décembre 1998*, Leyde : Université de Leyde, 2002, p. 111. Idem.
- 4
- 5 B. Adams, *Égypte prédynastique*, Princes Risborough: Shire Publications, 1988, p. 33.
- 6 M. Amer, 'Rapport annuel des fouilles de Maadi, 1930-32', *Bulletin de la Faculté des arts* I, 1933, p. 322-4 ; M. Amer, 'Rapport annuel des fouilles de Maadi, 1935', *CdÉXI*, 1936, p. 176-8 ; MA Hoffmann, *L'Égypte avant les pharaons : les fondements préhistoriques de la civilisation égyptienne*, Londres et Henley : Routledge et Kegan Paul, 1980, p. 203.
- 7 A. Lucas et JR Harris, *Matériaux et industries de l'Égypte ancienne*, Londres : Edward Arnold, 1962, p. 422.

- 8 JE Quibell, 'Vaisseaux de pierre de la pyramide à degrés', *ASAÉ35*, 1935.
- 9 G. Brunton, *Lahun I, le trésor*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1920, pl. XIV ; WMF Petrie, G. Brunton et MA Murray, *Lahun II, La Pyramide*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1923, pl. XXIV. Pour les formes de vases en pierre, voir BG Aston, *Navires en pierre égyptiens antiques*, Heidelberg: Heidelberger Orientverlag, 1994.
- dix Hoffmann, *L'Égypte avant les pharaons*, p. 207.
- 11 WMF Petrie, *Outils et Armes*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1917, p. 6.
- 12 PRS Moorey, *Matériaux et fabrication dans l'ancienne Mésopotamie : témoignages de l'archéologie et de l'art, métaux et ferronnerie, matériaux émaillés et verre*, Oxford: British Archaeological Reports, International Series S237, 1985, pp. 40–6.
- 13 CL Woolley, *Fouilles d'Ur*, Oxford: The Trustees of the British Museum and the Museum of the University of Pennsylvania, Philadelphia, vol. IV, 1955, p. 30–1. CL Woolley, *Fouilles d'Ur*, Oxford: The Trustees of the British Museum and the Museum of the University of Pennsylvania, Philadelphia, vol. II, 1934, p. 380 ; GA Reisner, *Mycerinus, les temples de la troisième pyramide de Gizeh*, Cambridge, MA : Harvard University Press, 1931, p. 180 ; Lucas et Harris, *EMI*, p. 74.
- 15 JE Quibell et FW Green, *Hiérakonpolis II*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1902, p. 6, pl. LXII.
- 16 Woolley, *Fouilles d'Ur*, vol. IV, p. 75, fig. 15b.
- 17 Ibid., p. 185, pl. 13.
- 18 Ibid., p. 14, fig. 5.
- 19 N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-R^m à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. Je, p. 49, note 22.
- 20 Quibell et Green, *Hiérakonpolis II*, svp. XXXII, LXII. Firth,
- 21 Quibell et Lauer, *La pyramide à degrés*, vol. Je, pl. 93.
- 22 A. Gardiner, *Grammaire égyptienne*, Oxford : Institut Griffith, Musée Ashmolean, 1976, p. 519, signe U25 ; MA Murray, *Les mastabas de Saqqarah*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, vol. I, 1905, p. 65, pl. XXXIX ; L. Borchardt, 'Beiträge zu 'GRIFFITH' Benihasan III', *ZÄSXXXV*, 1897, p. 107.
- 23 AM Blackman et M. Apted, *Les tombeaux rupestres de Meir*, Londres : Egypt Exploration Society, partie V, 1953, pl. XVII.
- 24 Gardiner, *Grammaire égyptienne*, p. 518, signe U24 ; Davies, *Rekhmiré*, vol. II, pl. LIV. N. de G.
- 25 Davies, *Les tombes rupestres de Deir el Gebrâwi*, Londres : Egypt Exploration Fund, 1902, vol. Je, pl. XXIV.
- 26 DA Stocks, 'Industrial technology at Kahun and Gurob: experimental manufacture and test of replica and reconstituted tools with specified uses and effects on artefact production', thèse non publiée, University of Manchester, 1988, vol. I, p. 168–213. P.
- 27 Duell (éd.) *Le mastaba de Mereruka*, Chicago: The University of Chicago Oriental Institute, 1938, vol. Je, pl. 30.
- 28 WMF Pétrie, *La vie sociale dans l'Égypte ancienne*, Londres: British School of Archaeology en Égypte, 1923, pp. 153–4.
- 29 Quibell, «Vaisseaux de pierre de la pyramide à degrés», pp. 77–8.
- 30 Reisner, *Mycerinus*, p. 180.
- 31 Lucas et Harris, *EMI*, p. 67, note 1. CM
- 32 JE39866.
- 33 G. Steindorff, *Das Grab des Ti*, Leipzig : Hinrichs, 1913, pl. 134.
- 34 Duell, *Mereruka*, vol. Je, pl. 30. Davis, *Gebrawi*, vol. Je, pl. XIII.
- 35
- 36 AM Blackman, *Les tombeaux rupestres de Meir*, Londres : Egypt Exploration Society, 1914, pl. V

- 37 Blackman et Apted, *Les tombeaux rupestres de Meir*, PL. XVII.
- 38 Davies, *Rekhamirê*, vol. II, pl. LIV.
- 39 N. de G. Davies, *Le tombeau des deux sculpteurs à Thèbes*, New York : métropolitain Musée d'Art, 1925, pl. XI.
- 40 N. de G. Davies, *Le tombeau de Puyemrê à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1922, vol. Je, pl. XXIII.
- 41 Davies, *Gebrawi*, vol. Je, pl. XXIV.
- 42 RS Hartenberg et J. Schmidt, Jr., 'La perceuse égyptienne et l'origine de la manivelle', *Technologie et culture* 10, 1969, p. 155-65. Pétrie, *Outils et Armes*, p. 45,
- 43 pl. LII, 72, 73.
- 44 WMF Petrie, *Le mobilier funéraire d'Égypte [et] les vases en pierre et en métal*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1937, p. 3.
- 45 Ibid., p. 3, pl. XXIX, exemples 627, 629, 632.
- 46 Stocks, 'Industrial technology', vol. I, p. 188-92.
- 47 Ibid., vol. Je, p. 189 ; DA Stocks, 'La fabrication de vases en pierre dans l'ancienne Mésopotamie et l'Égypte', *Antiquité* 67, 1993, p. 600-1.
- 48 Stocks, 'Technologie industrielle', vol. I, p. 192-212.
- 49 Pétrie, *Outils et Armes*, p. 45, pl. LII, 61. Provenance et
- 50 date inconnues.
- 51 WMF Pétrie, *Les pyramides et les temples de Gizeh*, Londres : Champ et Tuer, 1883, p. 176, pl. XIV, 11. Les perceuses tubulaires étaient utilisées de la même manière pour créer des yeux dans la statuaire (R. Engelbach, 'Evidence for the use of a Mason's pick in ancient Egypt', *ASAÉ* 29, 1929, p. 21).
- 52 Pétrie, *Pyramides*, PL. XIV, 9. Trouvé à Kom Ahmar par le professeur Sayce, un collègue de Pétrie.
- 53 Quibell et Green, *Hiérakonpolis* II, pl. LXVIII. Homme
- 54 noir, *Les tombeaux rupestres de Meir*, p. 30, pl. V

6

LE DÉVELOPPEMENT DE SARCOPHAGE EN PIERRE FABRICATION

Façonnage de sarcophages en pierre : outils de décoration de surface et techniques

La création de sarcophages à partir de blocs de pierre simples a évolué à partir des cercueils en bois de la dynastie primitive, ceux-ci étant constitués de planches de bois maintenues ensemble par des chevilles.¹

Les cercueils étaient souvent décorés d'une conception symbolique de « façade de palais » en retrait, en réalité une façade de maison dérivée des bâtiments antérieurs en roseau (figure 6.1). Ce dessin en creux apparaît sur les cercueils en bois et les sarcophages en pierre de toutes les époques,² qui étaient souvent sculptés de hiéroglyphes et de reliefs, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur.³



Figure 6.1 Conception de la façade du palais sur le sarcophage en granit rose d'Akhet-Hotep, fouillé par le Harvard University-Museum of Fine Arts, Boston, Expedition to Giza (Mastaba G7650, pit C). Musée d'art de Brooklyn 48.110 Fonds Charles Edwin Wilbour. (Avec l'aimable autorisation du Brooklyn Museum of Art)

Les sarcophages monolithiques ont été introduits pour la première fois sous la troisième dynastie, étant construits en calcaire blanc tendre. Plus tard dans cette dynastie, des sarcophages en calcite ont été fabriqués pour Zoser et Sekhemkhet. Sous la IV^e dynastie, les artisans de Khéops fabriquèrent le premier sarcophage en granit. Des sarcophages ultérieurs ont été fabriqués à partir de ces trois pierres, ainsi que de basalte, de quartzite et de grauwacke. Le calcaire tendre, la calcite et le granit représentent des degrés de difficulté croissants dans la fabrication des sarcophages. Les résultats des essais de coupe, sciage et forage de Manchester et d'Assouan, analysés dans les chapitres 2, 3 et 4, permettent d'apporter un éclairage nouveau sur les difficultés rencontrées par les anciens artisans lors de la fabrication des sarcophages en pierre.

Les résultats des expériences avec les répliques de ciseaux et d'herminettes en cuivre soutiennent le façonnage et le creusement de sarcophages en calcaire tendre avec ces outils, mais il est possible qu'ils aient également été travaillés avec des ciseaux, des herminettes et des grattoirs en silex ; le ciseau en silex de 15 cm trouvé dans la fosse à bateaux de Khufu à Gizeh aurait été idéal pour ce travail. Les ciseaux, les poinçons et les grattoirs en silex étaient essentiels pour graver les hiéroglyphes et les reliefs sur les surfaces internes et externes des sarcophages en pierre dure et de leurs couvercles (par exemple, le bas-relief d'une peau de panthère sur le couvercle du sarcophage en granit rose de la IV^e dynastie d'Ureren , CM JE48078 ; les hiéroglyphes incisés à l'intérieur des sarcophages en grauwacke et en granit, Musée du Louvre N345 D9, N346 D10 respectivement), et aussi pour façonner des sarcophages anthropoïdes (momies) en pierre dure à partir de l'Empire du Milieu.⁷

Certains couvercles ont été sciés au fond de sarcophages en pierre préalablement façonnés (par exemple, le sarcophage en granit rose de la IV^e dynastie d'Hordjedef, CM JE54938) : un tel couvercle détaché s'adapte automatiquement à son sarcophage. Des trous de levage étaient parfois percés dans les sections d'extrémité surélevées d'un couvercle (figure 6.2) avec un tube entraîné par un arc (par exemple, un sarcophage en calcite de la troisième dynastie, CM JE28102). D'autres couvercles ont généralement été laissés avec leurs bossages de levage encore attachés (par exemple, un sarcophage en granit rose de l'Ancien Empire, CM JE6156 ; un sarcophage en calcaire de la Cinquième Dynastie de Ra-ur, CM JE51950). Deux fentes de scie en forme de coin sont visibles dans le sarcophage en granit de Hordjedef, qui a encore au moins la moitié de son couvercle cassé attaché ; ces fentes sont disposées à un angle d'environ 45° de chaque côté du sarcophage, formant la forme d'un chevron. Comme expliqué précédemment au chapitre 4,

Afin de couper les fentes inclinées, le sarcophage de Hordjedef a d'abord été dressé sur son extrémité, puis incliné à un angle d'environ 45°, probablement sur du sable profond, ce qui aurait rendu l'opération aussi sûre que possible. Une fois que la première coupe a atteint la ligne médiane du couvercle, le sarcophage a dû être incliné de 90 ° pour accomplir l'autre coupe inclinée. Après cette coupe, qui a créé le chevron, le sarcophage a été complètement redressé et la scie a été utilisée pour couper presque jusqu'aux bords extérieurs des deux fentes de scie d'origine, en commençant par le sommet du chevron (figure 6.3). Chacune des trois coupes était significativement plus courte que la largeur totale du bloc, nécessitant beaucoup moins d'effort que le sciage sur toute la largeur horizontale. Ces procédures peuvent être répétées jusqu'à ce que le couvercle se détache. Dans ce cas, cependant, une catastrophe s'est abattue sur les travailleurs.



Figure 6.2 Trous de levage percés dans le couvercle du sarcophage en granit rose d'Akhet-Hotep, creusés par le Harvard University-Museum of Fine Arts, Boston, Expedition to Giza (Mastaba G7650, fosse C). Musée d'art de Brooklyn 48.110 Fonds Charles Edwin Wilbour. (Avec l'aimable autorisation du Brooklyn Museum of Art)



Figure 6.3 Une scie à pierre devait être légèrement plus longue que la largeur d'un bloc de pierre, pour permettre son mouvement alternatif

permettait à la moitié sciée, et donc détachée, du couvercle de heurter un objet solide, ou d'être soumise à une pression considérable, qui la rompait aussitôt au point de sciage. On imagine la panique suite à cet événement !

Les stries de la toute dernière coupe à la scie horizontale, réalisée avec le sarcophage debout à une extrémité, sont encore clairement visibles là où le couvercle s'est détaché. Ces stries sur le sarcophage de Hordjedef, et d'autres preuves de scies en cuivre utilisées avec du sable abrasif, indiquent qu'un flû bouda scie en cuivre coupait les sarcophages de Hordjedef et de Sekhemkhet, la scie étant légèrement plus longue que la profondeur des côtés et la largeur des surfaces supérieure et inférieure. Cependant, les stries horizontales s'étendant dans le sens de la longueur le long des deux côtés du sarcophage de Khufu indiquent qu'elles ont été sciées avec le sarcophage debout sur son fond. Au chapitre 4, mention a été faite de la suggestion de WMF Petrie selon laquelle la scie utilisée pour le sarcophage de Khufu, utilisée horizontalement sur toute sa longueur extérieure de 2,276 m, devait mesurer environ 9 pieds de long (2,7 m), permettant son va-et-vient : cela suppose que les deux extrémités aient déjà été sciées du bloc de granit. L'utilisation d'une longue lame pour le sarcophage de Khéops a réduit la quantité de travail nécessaire pour niveler les surfaces, tandis que l'utilisation d'une scie plus courte pour couper le sarcophage en granit de la quatrième dynastie d'Hordjedef a laissé des surfaces très inégales, créant un brusque changement de niveau au point où un coupe à la scie ultérieure interfacée avec une coupe précédente.

Creuser l'intérieur des sarcophages en pierre dure

L'utilisation de masses de pierre pour écraser la calcite, le granit, le basalte, le quartzite ou la grauwacke de l'intérieur des sarcophages est impraticable : la force des coups aurait bientôt fait craquer les blocs de pierre déjà façonnés. L'utilisation de ciseaux à silex et de poinçons aurait pris beaucoup trop de temps pour enlever une si grande masse de pierre. Par conséquent, les artisans égyptiens ont utilisé la perceuse tubulaire en cuivre pour creuser le sarcophage en calcite de Sekhemkhet, un outil qui leur avait bien servi depuis l'époque de Nagada II pour creuser les récipients en pierre dure et percer les trous dans leurs anses. MZ Goneim, dixl'excavateur de la pyramide de Sekhemkhet, a découvert que son sarcophage en calcite avait été foré tubulaire à partir d'une extrémité, plutôt qu'à partir de sa longue surface supérieure, comme dans le sarcophage de Khufu. Plus tard dans l'histoire dynastique, d'énormes sarcophages en pierre dure ont été fabriqués pour l'enterrement des taureaux Apis. A Saqqarah, au début des années 1850, Auguste Mariette a trouvé 28 sarcophages de taureaux en granit et diorite dans le Serapeum ; ils pèsent chacun plus de 80 tonnes. Les sépultures datent de la XIXe dynastie. Il est probable que chaque sarcophage a été scié en forme et creusé avec des mèches tubulaires en bronze,¹¹ semblable aux sarcophages royaux.

Petrie¹² enregistré les mesures internes et externes du sarcophage de Khéops. Les équivalents métriques de la longueur, de la largeur et de la profondeur internes étaient respectivement de 198,3 cm, 68,1 cm et 87,4 cm, et la longueur, la largeur et la hauteur externes étaient respectivement de 227,6 cm, 97,8 cm et 105,0 cm. Le poids du bloc façonné, avant évidage, était de 6 310 kg, la densité du granit étant de 2,7 g/cm³. La pierre enlevée pesait 3 186 kg, laissant un poids fini de 3 124 kg.

Une marque incurvée dans le mur intérieur est du sarcophage de Khufu a été mesurée par Petrie¹³ être dix pouce (2,54 mm) de profondeur, 3 pouces (7,6 cm) de long et 1,3 pouces (3,3 cm) de large, le bas de la marque étant à une profondeur de 8,4 pouces (21,3 cm) sous le haut du bloc de pierre.¹⁴ Des calculs trigonométriques, utilisant les mesures de Petrie (figure 6.4), indiquent qu'un foret tubulaire mesurant 11 cm, très proche d'une mesure de six doigts royaux, ou d'une paume royale et demie, de diamètre a été utilisé pour percer le granit.¹⁵ La mesure métrique de la largeur d'un doigt royal est de 1,87 cm, calculée en divisant le nombre de doigts, 28 dans une coudée royale, en une longueur métrique de 52,31 cm,¹⁶ bien que Dieter Arnold ait calculé que la coudée royale était de 52,5 cm en mesurant les bâtiments existants.¹⁷ Des coudées mesurant 52,5 cm sont connues, mais elles datent du Nouvel Empire.¹⁸

Un tube de 11 cm de diamètre correspond presque exactement 18 et 6 fois à la longueur interne de 198,3 cm (26,5 palmes royales) et à la largeur de 68,1 cm (neuf palmes royales) respectivement (Figure 6.5). Cette découverte est étayée en divisant le tube de même diamètre dans la longueur et la largeur internes du sarcophage en granit rose de la douzième dynastie de Sésostri II à Lahun. Ce diamètre de tube rentre précisément 19 fois et six fois dans la longueur interne de 209,5 cm (28 palmes royales) et

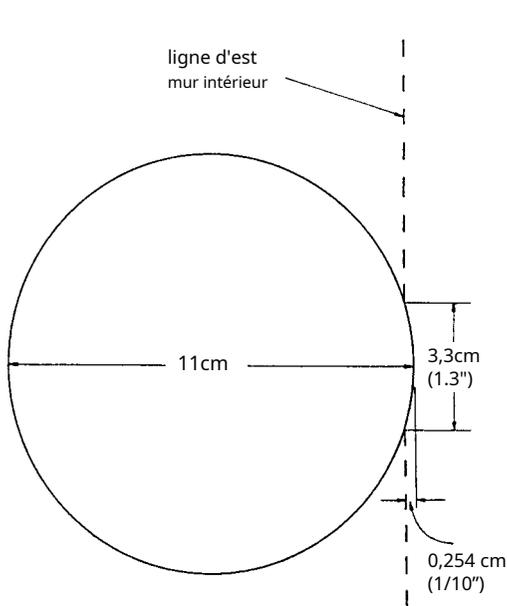


Figure 6.4. Le diamètre externe calculé du tube de cuivre utilisé pour percer le sarcophage de Khufu, avec les mesures de WMF Petrie de la marque incurvée dans la paroi interne

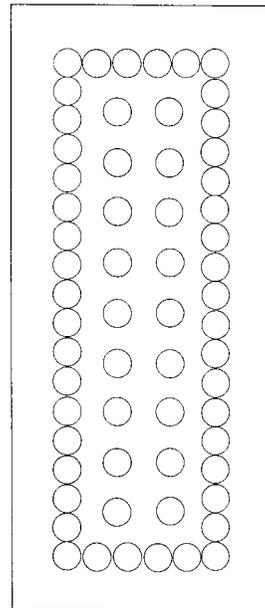


Figure 6.5. La méthode proposée pour percer le sarcophage de Khufu avec 62 trous, 44 pour le périmètre, 18 pour affaiblir la masse centrale

la largeur de 67,4 cm (neuf palmes royales) respectivement. Il est possible qu'un tube de forage de diamètre à six doigts royaux soit la norme pour le forage des sarcophages royaux, et que la longueur et la largeur internes d'un sarcophage aient été obtenues en centralisant le nombre entier le plus proche de diamètres de tube de forage, lorsqu'ils se touchent juste,¹⁹ laisser une quantité adéquate de pierre après avoir foré autour du périmètre pour former les murs latéraux et d'extrémité.

Le bas de la marque incurvée représente probablement une pénétration initiale maximale du foret tubulaire, en raison de forces de frottement défavorables, lorsque la carotte a dû être rompue, permettant au tube de forage de pénétrer davantage dans la pierre. L'utilisation expérimentale d'un tube de forage de 8 cm de diamètre à Assouan a montré que les forces de frottement générées au niveau de la face de coupe à extrémité plate par la rotation du tube et par la poudre de sable utilisée obstruant les espaces entre le noyau et la paroi du trou, augmentaient la force nécessaire pour faire tourner le tube. Cependant, cette compression du produit du forage tubulaire de la pierre à l'intérieur du tube de forage, une poudre cohésive sèche et finement broyée,²⁰ permet périodiquement, et vital pour l'introduction de sable frais, d'être retiré des trous profonds.

Les expériences ont indiqué qu'une équipe de trois travailleurs était nécessaire pour enfoncer un tube de 11 cm de diamètre. Les tests de forage d'Assouan ont confirmé que deux foreurs devaient pousser et tirer un grand arc, le troisième élément stabilisant une pierre angulaire hémisphérique exerçant une pression sur la face de coupe du foret (Figure 6.6). Comme précédemment



Figure 6.6 Le tube de cuivre utilisé pour percer le sarcophage en granit de Khufu était un peu plus grand en diamètre que ce foret tubulaire reconstruit. La pierre angulaire lubrifiée est à gauche

mentionné, les expériences de forage et de sciage suggèrent qu'une pression de 1 kg/cm² sur les tranchants d'une scie et d'un foret tubulaire est nécessaire. Par conséquent, les longues scies à pierre étaient probablement lestées de pierres à chaque extrémité de la lame. Les expériences de sciage d'Assouan ont confirmé que l'inertie, exacerbée par le frottement généré dans une fente longue et profonde, aurait nécessité deux ouvriers anciens pour la surmonter, un à chaque extrémité de la scie.

Dans le sarcophage de Khufu, les 44 trous périphériques ont probablement été percés en premier, suivis de l'enlèvement de leurs noyaux en martelant un ciseau métallique conique verticalement dans le côté de la fente tubulaire la plus proche de la masse centrale maintenant isolée; cette stratégie aurait protégé les murs des dommages. La masse centrale pourrait maintenant être affaiblie par 18 trous supplémentaires (voir Figure 6.5), au lieu d'un maximum possible de 64 trous centraux (108 au total) se touchant tous. Le nombre réel de trous dans la masse centrale ne peut jamais être connu, mais les artisans essaient toujours de minimiser les travaux inutiles. Dans la proposition à 18 trous, leurs noyaux et leurs colonnes de pierre interconnectées sont suffisamment isolés pour leur permettre d'être brisés avec des masses de pierre, sans que des vibrations dommageables ne soient transmises aux parois du sarcophage. L'enlèvement d'un premier niveau de pierre, jusqu'à environ 21 cm, laisse pénétrer un tube de forage plus loin, en commençant, comme précédemment, par les trous périphériques. Entre quatre et six niveaux seraient nécessaires pour atteindre le fond, en fonction de la longueur des tubes de forage. Les cuspidés laissées dans les murs après le forage, ainsi que les noyaux cassés et les colonnes du fond, ont probablement été enlevés en les habillant avec des ciseaux à silex et des poinçons. Le lissage a peut-être été réalisé avec des caoutchoucs de grès grossier, suivi de l'application de poudres de déchets de sable/pierre/cuivre finement broyées provenant des processus de sciage et de forage tubulaire. Le polissage aurait pu être réalisé avec des nappes de cuir et de la boue. Les cuspidés laissées dans les murs après le forage, ainsi que les noyaux cassés et les colonnes du fond, ont probablement été enlevés en les habillant avec des ciseaux à silex et des poinçons. Le lissage a peut-être été réalisé avec des caoutchoucs de grès grossier, suivi de l'application de poudres de déchets de sable/pierre/cuivre finement broyées provenant des processus de sciage et de forage tubulaire. Le polissage aurait pu être réalisé avec des nappes de cuir et de la boue. Les cuspidés laissées dans les murs après le forage, ainsi que les noyaux cassés et les colonnes du fond, ont probablement été enlevés en les habillant avec des ciseaux à silex et des poinçons. Le lissage a peut-être été réalisé avec des caoutchoucs de grès grossier, suivi de l'application de poudres de déchets de sable/pierre/cuivre finement broyées provenant des processus de sciage et de forage tubulaire. Le polissage aurait pu être réalisé avec des nappes de cuir et de la boue.

Discussion

Les données de la section précédente peuvent maintenant être utilisées en conjonction avec les anciens taux de sciage et de forage indiqués pour déterminer la dépense approximative de cuivre, de sable et de temps pour la fabrication du sarcophage de Khéops. Sur la base des résultats expérimentaux de forage et de sciage de Manchester et d'Assouan, on estime que les anciens taux de sciage et de forage des sarcophages en granit étaient d'environ 30 et 12 cm³/heure respectivement, et pour les sarcophages en calcite étaient de 450 et 180 cm³/heure respectivement.²¹ Même si la surface de contact avec la pierre est beaucoup plus grande pour une scie que pour un tube de forage, l'action alternative pour le sciage est moins fatigante que la conversion de la même action en un mouvement rotatif. Éventuellement, pour gagner du temps, deux équipes de deux ouvriers ont scié les côtés opposés, les extrémités, le haut et le bas en même temps. De même, trois équipes de trois ouvriers avaient suffisamment d'espace simultanément pour percer le sarcophage - une équipe à chaque extrémité et une au milieu.

En utilisant la proposition de 62 trous pour le sarcophage de Khufu, l'emploi intime de deux équipes de sciage et de trois forages, les épaisseurs probables de scie et de paroi de tube de 5 mm et les calculs basés sur l'ancienne coupe indiquée

taux, suggère que les temps de sciage et de forage consécutifs sont respectivement de 4 et 10 mois, avec quelques mois supplémentaires pour habiller et polir le sarcophage et fabriquer son couvercle, soit un total d'environ 28 000 heures de travail. (Naturellement, les temps de forage, et la consommation de cuivre et de sable seraient proportionnellement plus importants pour 108 trous ; l'utilisation de *Célibatares* équipes de sciage et de perçage de deux et trois ouvriers augmenteraient également le temps total de fabrication.) Le poids calculé du cuivre perdu par les scies (168 kg) et les tubes (266 kg) s'élève à 434 kg, un *moyen* quotidien de perte de cuivre des scies et perceuses d'environ 1 kg.

Le poids du sable utilisé pour le sciage et le forage est estimé à environ 14,5 et 22,5 tonnes respectivement, soit un total de 37 tonnes. Les énormes quantités de poudres de déchets obtenues à partir de la fabrication d'un sarcophage à partir de pierre ignée, contenant de nombreuses particules de cuivre, peuvent avoir été stockées pour une utilisation ultérieure comme abrasif pour le polissage de la pierre, le forage de perles de pierre et pour la fabrication de glaçures, de frites et de faiences bleues et vertes. pigment.²² Chaque granit, ou diorite, sarcophage de taureau Apis doit avoir consommé des quantités significativement plus importantes de cuivre, ou de bronze, de sable et de temps pour sa fabrication que les quantités dépensées pour le sarcophage en granit de Khufu, une indication de l'importance attachée à l'enterrement du taureau Apis à le Sérapeum.

Le poids total de la pierre enlevée était de 3 186 kg, mais le poids de la pierre forée, si l'on utilisait les 62 trous proposés, serait de 242 kg. Le rapport du poids du granit foré au poids total du granit enlevé est de 242:3186 ou 1:13, et le rapport du poids du cuivre perdu des tubes de forage au poids total du granit enlevé est de 266 : 3186 ou 1:12. Exprimé en tant que volume de cuivre perdu par rapport au volume de pierre enlevée, le rapport est de 1:40 (où la gravité spécifique du cuivre est de 8,94 g/cm³, 3,3 fois la densité du granit). L'efficacité de cette méthode pour creuser en toute sécurité des sarcophages en pierre est indiquée par ces rapports favorables.

Les essais de ciselage, d'herminette, de grattage, de sciage et de perçage sur calcaire tendre, calcite et granit révèlent une différence significative entre les matériaux des outils, les techniques employées et la consommation de cuivre, de sable et de temps pour la fabrication des sarcophages fabriqués à partir de ces trois types de pierre. En particulier, il y a eu une forte augmentation de l'utilisation du cuivre, du sable et du temps pour la fabrication de sarcophages en pierre ignée, à partir de la quatrième dynastie. Il est également clair, d'après les expériences de sciage et de forage de Manchester et d'Assouan, que les quantités de cuivre broyé par les anciennes scies à tailler la pierre et les tubes de forage utilisés pour la fabrication de sarcophages, en particulier ceux en pierres ignées, représentaient une proportion substantielle. de la production de cuivre dans l'Égypte ancienne.

Remarques

- 1 WB Emery, *Égypte archaïque*, Harmondsworth: Penguin Books, 1984, pls. 24, un, b, 25, b.
- 2 AJ Spencer, *La mort dans l'Égypte ancienne*, Harmondsworth : Penguin Books, 1982, p. 166.

- 3 Par exemple, le sarcophage de l'Adoratrice d'Amon à Thèbes de la XXI^e dynastie, Ankhnesneferibre (BM 32). Le couvercle est inscrit avec des hiéroglyphes et une figure d'Ankhnesneferibre en relief, tandis que le dessous du couvercle est inscrit avec des hiéroglyphes et une figure de la déesse Nut (TGH James, *Une introduction à l'Égypte ancienne*, Londres : Book Club Associates, 1979, pp. 76, 166, fig. 25, 59).
- 4 WMF Petrie, *Tombs royales des premières dynasties*, Londres : Egypt Exploration Fund, volumes I, II, 1900-1 ; GA Reisner, *Cimetières dynastiques anciens de Naga ed-Dêr*, Los Angeles : Publications de l'Université de Californie, 1908, vol. JE; AC Macé, *Cimetières dynastiques anciens de Naga ed-Dêr*, Los Angeles : Publications de l'Université de Californie, vol. II, 1909 ; E.Naville, *Cimetières d'Abydos*, Londres : Egypt Exploration Society, vol. je, 1914; TE Peet, *Cimetières d'Abydos, partie II, 1911-1912*, Londres : Egypt Exploration Society, 1914 ; Spencer, *Décès*, p. 167.
- 5 Par exemple, le sarcophage de Menkaure (basalte) ; les sarcophages de Senusret I, Amenemhat III et Toutankhamon (tous en quartzite) ; le sarcophage d'Ankhnesneferibre (greywacke).
- 6 WMF Petrie, *Architecture égyptienne*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1938, p. 30; DA Stocks, 'Industrial technology at Kahun and Gurob: experimental manufacture and test of replica and reconstruit tools with specified uses and effects on artefact production', thèse non publiée, University of Manchester, 1988, vol. II, p. 246-73.
- 7 Par exemple, le sarcophage momiforme en granit noir de Merymose, vice-roi de Koush sous Amenhotep III (BM 1001).
- 8 WMF Petrie, *Les temples et pyramides de Gizeh*, Londres : Field et Tuer, 1883, pp. 174-5 ; GA Reisner, *Mycerinus, les temples de la troisième pyramide de Gizeh*, Cambridge, MA : Harvard University Press, 1931, p. 180 ; A. Lucas et JR Harris, *Matériaux et industries de l'Égypte ancienne*, Londres : Edward Arnold, 1962, p. 74 ; DA Stocks, 'Bâtons et pierres de la technologie égyptienne', *Archéologie populaire* 7 (3), 1986, p. 24-9 ; Stocks, 'Technologie industrielle', vol. I, p. 100-43 ; DA Stocks, "Tester les méthodes de travail du granit de l'Égypte ancienne à Assouan, en Haute-Égypte", *Antiquité* 75, 2001, p. 90-1, fig. 1.
- 9 Pétrie, *Pyramides*, p. 84.
- dix MZ Goneim, *La pyramide enterrée*, Londres : Longmans, Green and Co., 1956, p. 124.
- 11 forêts tubulaires étaient en bronze à la XIX^e dynastie. Un trou tubulaire dans un chambranle de porte en granit ramesside contenait des particules de bronze (MMA 13.183.2). Voir D. Arnold, *Construire en Égypte : la maçonnerie de pierre pharaonique*, New York : Oxford University Press, 1991, p. 286, fig. 6.20, note 65 au chapitre 6.
- 12 Pétrie, *Pyramides*, p. 86.
- 13 Idem, p. 84.
- 14 WMF Petrie, 'Sur les méthodes mécaniques des anciens Égyptiens', *JRAI* 3, 1884, p. 93.
- 15 Stocks, 'Technologie industrielle', vol. I, pp. 148-50, fig. 23, 24.
- 16 La mesure de Howard Carter de la coudée était de 52,31 cm (H. Carter, 'Rapport sur la tombe de Zeser-Ka-Ra Amenhetep I, découvert par le comte de Carnarvon en 1914', *JEA* 3, 1916, p. 150); La mesure de Petrie de la coudée était de 52,37 cm (Petrie, *Pyramides*, p. 181). Aux fins du calcul de la largeur d'un doigt royal pour cette étude, la mesure de Carter a été utilisée.
- 17 D.Arnold, *Le temple de Mentuhotep à Deir el-Bahari : d'après les notes d'Herbert Winlock*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1979, p. 30.
- 18 R.Lepsius, *Die alt-ägyptische Elle*, Berlin : Buchdruckerei der Königl. Akademie der Wissenschaften, 1865, p. 13-17.
- 19 Pétrie, *Pyramides*, p. 176, pl. XIV, 13 ; Petrie, 'Sur les méthodes mécaniques de la anciens Égyptiens », p. 93.

- 20 Stocks, 'Bâtons et pierres de la technologie égyptienne', p. 27.
- 21 DA Stocks, 'Fabrication de sarcophages en pierre dans l'Egypte ancienne', *Antiquité*73, 1999, p. 921, tableau 1.
- 22 DA Stocks, 'Fabrication de vases en pierre', *Archéologie populaire*7 (4), 1986, p. 17; DA Stocks, 'Anciennes techniques de production de masse en usine: indications de la fabrication de perles de pierre à grande échelle à l'époque du Nouvel Empire', *Antiquité*63, 1989, p. 528 ; DA Stocks, 'Dérivation de l'âme de la faïence égyptienne antique et des matériaux de glaçure', *Antiquité*71, 1997, p. 180-1.

7

MAÎTRES MONTEURS EN MAÇONNERIE

Outils de maçon

L'assemblage d'un grand nombre de blocs de pierre ensemble, qui a commencé avec la pyramide de Zoser et d'autres parties de son complexe funéraire à Saqqarah sous la troisième dynastie, a atteint son apogée sous la quatrième dynastie à Gizeh, où les maçons de Khufu ont étroitement ajusté le grand noyau et l'enveloppe. -blocs dans la Grande Pyramide (Figure 7.1). Le système utilisé par les anciens maçons pour créer des surfaces vraiment planes sur des blocs de pierre, des sarcophages et des obélisques n'a jamais été entièrement compris. Certains outils et illustrations de tombes des techniques ont survécu, et les expériences décrites plus tard avec des répliques d'outils anciens, et leur évaluation, ont été utiles pour interpréter les preuves archéologiques disponibles.

Les artisans utilisaient des bouts de ficelle imbibés d'ocre rouge pour marquer les lignes de nivellement sur les maçonneries en pierre, et de la ficelle était également nécessaire pour les fils à plomb,



Figure 7.1 Grands blocs de coffrage calcaire au pied du côté nord de la Grande Pyramide

qui étaient utilisés avec certains outils importants. Au début, les fils à plomb étaient rainurés pour retenir la corde,² mais dès la IV^e dynastie un trou fut percé à cet effet.³ Les trous semblent être faits pour une ficelle de 2 mm de diamètre. WMF Petrie a trouvé un certain nombre de fils à plomb, le plus ancien provenant du site de la troisième dynastie de Meidum.⁴

Trois outils anciens dépendaient du fil à plomb, et il s'agissait du cadre en bois pour tester le niveau horizontal, en forme de lettre majuscule 'A' (Figure 7.2), le cadre de test vertical (Figure 7.3), également en bois, et un instrument d'arpentage taillé dans l'os appelé le *merkhet*. Des textes inscrits sur les murs des temples gréco-romains de Dendérah et d'Edfou indiquent que le *merkhet*, une barre horizontale munie d'un fil à plomb suspendu à un trou transversal percé dans une partie surélevée à une extrémité, était utilisée conjointement avec un instrument de visée, le *baie*, pour déterminer le vrai nord ; la *baiea* était fabriqué à partir d'une nervure de paume droite, une fente en forme de V étant coupée dans l'extrémité la plus large. IES Edwards,⁵ se référant à la précision de l'alignement des deux principales pyramides de Gizeh, a suggéré que le *baie* était debout au centre d'un mur circulaire nivelé avec précision construit sur le lit rocheux horizontal d'une pyramide projetée. Une étoile particulière, vue à travers la fente en forme de V, aurait sa position ascendante marquée sur le mur directement en ligne entre l'observateur et l'étoile. Quelques heures plus tard, la position de coucher de la même étoile serait marquée sur le mur. Reposer un *merkhet* en haut du mur permettaient au fil à plomb de reporter perpendiculairement les repères au sol : une bissectrice de l'angle formé entre eux indiquait le vrai nord. Des modèles d'outils de test horizontaux et verticaux ont été trouvés dans la tombe de l'architecte Senedjem de la XIX^e dynastie à Deir el-Medina.⁶

Le cadre « A » était composé de trois morceaux de bois. Deux ont été jointes au sommet pour former un angle de 90°, les deux extrémités libres étant coupées à un angle de 45°. La troisième pièce était fixée horizontalement, de manière à compléter la forme en "A". Un trou percé au sommet, pour enfile le fil à plomb, était noué à l'arrière pour le fixer. Lors de l'étalonnage d'un outil de réplique,⁷ les deux extrémités libres du cadre devaient toucher la surface de l'eau calme. Une marque verticale a été faite sur la barre horizontale, exactement derrière le fil à plomb suspendu. Après étalonnage, la réplique de l'outil a testé une surface horizontale, déjà confirmée comme étant vraiment de niveau avec un niveau à bulle moderne. La réplique du cadre « A » s'est avérée tout aussi fiable que l'instrument moderne, et il y a de bonnes raisons de supposer que les cadres anciens étaient si calibrés et précis.

Une réplique du dispositif de test vertical a également été construite.⁸ Ici, il était important de faire en sorte que les deux pièces horizontales aient exactement la même longueur avant de les fixer à la longueur verticale du bois. (Un simple pied à coulisse extérieur était probablement utilisé - voir la section ultérieure concernant l'ensemble de tiges et de cordes Kahun pour une explication détaillée de cette technique.) Un trou a été fait dans le haut de la pièce verticale, et un autre trou percé à un angle de 45° à travers l'extrémité de la pièce horizontale supérieure, le fil à plomb étant enfilé à travers les deux trous, le fil pendant librement. Lors d'un test sur un mur moderne, la ficelle a juste touché la pièce horizontale inférieure, indiquant que le mur était vraiment vertical. Fourni chaque pièce

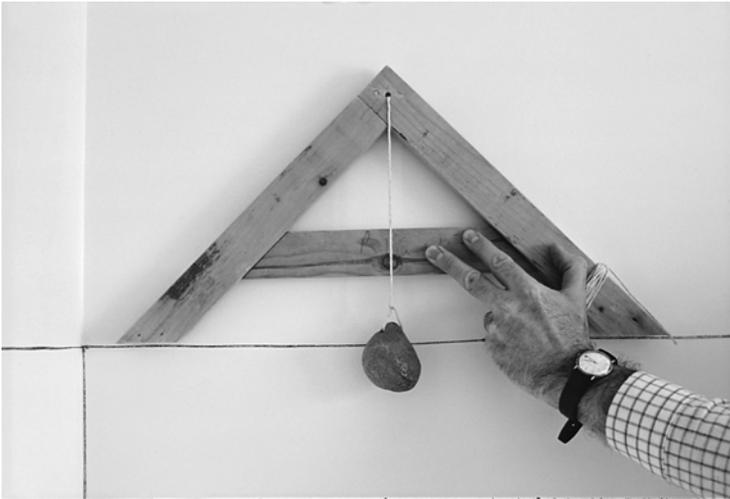


Figure 7.2 Une réplique de cadre en bois pour tester le niveau horizontal, en forme de lettre majuscule 'A'

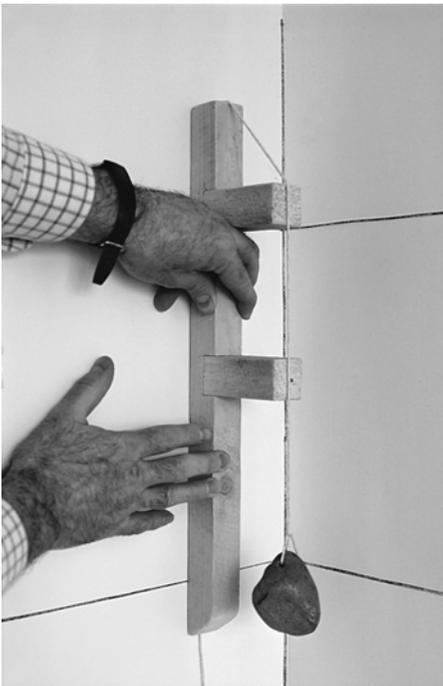


Illustration 7.3 Une réplique de cadre d'essai vertical en bois

de bois ont été fabriqués et assemblés avec précision, un instrument ancien s'est automatiquement calibré à la fin du processus de construction. La précision de la réplique de l'outil est comparable à celle d'un niveau à bulle moderne.

Bien qu'il n'y ait aucune preuve directe pour prouver que ces deux cadres étaient utilisés à la Grande Pyramide, les preuves de fils à plomb antérieurs à la quatrième dynastie et la capacité des maçons à créer des surfaces véritablement horizontales et verticales à Gizeh appuient cette proposition.

Le tailleur de pierre utilisait une équerre pour aider à tester la précision de l'intérieur ou de l'extérieur d'un coin formant un angle de 90° ; la même équerre peut faire les deux tâches. Une équerre modèle a été localisée avec les deux outils précédemment décrits de la tombe de Senedjem (CM JE27259). Cette équerre se compose de deux pièces de bois droites, l'une avec une pièce supplémentaire faisant office de pied, fixées pour former un angle droit. Une règle en bois était peut-être utilisée pour le travail de la pierre. Cependant, dans la tombe de Rekhmire cet outil est utilisé pour le travail du bois, pas pour le travail de la pierre.

Un outil crucial pour tester la planéité de la surface des blocs de pierre, composé de trois courtes tiges de bois de longueur égale, dont deux étaient initialement reliées au sommet par un morceau de ficelle fine, a été trouvé par Petrie à la douzième dynastie Kahun (figure 7.4) ; dix cet ensemble de tiges est le premier exemple connu de cet outil. Les deux tiges jointes, lorsqu'elles étaient placées verticalement sur la surface d'une pierre, étaient séparées pour tendre la corde. La troisième tige a été maintenue contre la corde pour tester la planéité de la surface en dessous.

Pour déplacer et assembler des blocs de pierre, le maçon égyptien a utilisé un mortier de gypse bâclé à trois fins essentielles. Premièrement, le mortier a été utilisé comme lubrifiant pour faire glisser les grands blocs de revêtement ensemble dans la Grande Pyramide ; les blocs de base ont été déplacés de la même manière par cette méthode.¹¹ Deuxièmement, Somers Clarke et Reginald Engelbach ont remarqué que les espaces entre les blocs centraux mal ajustés dans la pyramide de Khufu étaient remplis de petits morceaux de pierre, qui étaient enterrés dans une matrice de mortier de gypse.¹² Troisièmement, Clarke et Engelbach ont également attiré l'attention sur la difficulté de s'assurer que les blocs sur un cours inférieur supportaient uniformément les blocs au-dessus d'eux.¹³

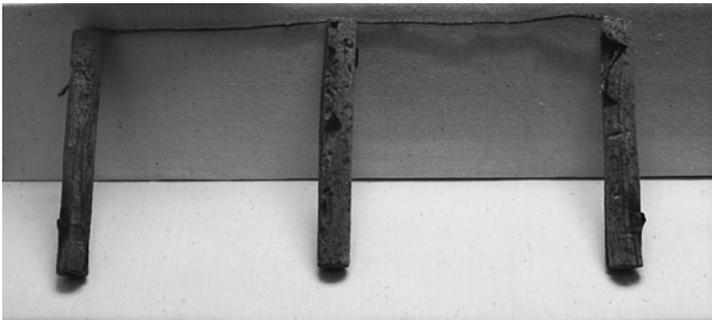


Illustration 7.4 Trois tiges de bois (MM 28) trouvées à Kahun par WMF Petrie. (Avec l'aimable autorisation du Manchester Museum, l'Université de Manchester)

Les maçons égyptiens, aussi habiles soient-ils, ne pouvaient pas ajuster avec précision la surface supérieure d'un bloc inférieur à la surface inférieure d'un bloc reposant dessus. Le mortier utilisé pour faire glisser les deux blocs ensemble remplissait automatiquement de légers creux dans les surfaces des blocs, qui durcissaient plus tard, transmettant uniformément le poids du bloc supérieur sur la surface du bloc de support. Ce phénomène a empêché les blocs de se fissurer.

Quelques problèmes auxquels est confronté le maçon

Aux premiers stades du développement du travail de la pierre, les maçons égyptiens manipulaient des blocs de pierre de taille et de poids gérables. Les noyaux de calcaire grossièrement fabriqués dans la pyramide de Zoser, délibérément en forme de briques de boue, mais proportionnellement plus grands que les dimensions normales de briques de boue de 23×12×7 cm jusqu'à 26×13 ×9cm, sont encore assez petits par rapport aux blocs de noyau et d'enveloppe calcaires de la pyramide de Khéops à Gizeh (figures 7.5, 7.6). Les dimensions moyennes



Figure 7.5 Calcaire blocs de base à Khufu pyramide



Illustration 7.6 Gros plan sur les blocs centraux de la Grande Pyramide

des blocs de base, et la plupart des blocs de boîtier déjà retirés de la pyramide, sont $127 \times 127 \times 71$ cm,¹⁵ et ils pèsent en moyenne 2,75 tonnes chacun.¹⁶ Cependant, l'un des blocs-caissons de base encore en place du côté nord pèse environ 16 tonnes¹⁷ (16300 kg), soit six fois le poids du bloc de base ou de carter moyen. Les blocs de boîtier de la pyramide de Zoser sont un peu plus grands que ses blocs de base.¹⁸ Cependant, la plupart d'entre eux étaient relativement faciles à gérer. Lorsque les blocs étaient assemblés, en particulier les joints montants, ils pouvaient être essayés en position, retirés pour ajustement et remis en place. Les blocs de tubage de la Grande Pyramide, en raison de leur poids, auraient été extrêmement difficiles à installer par ces méthodes.

Le principal problème rencontré par le maçon lors de la pose d'une maçonnerie mégalithique était de parvenir à un parallélisme entre les faces d'extrémité formant le joint montant entre deux blocs adjacents. Il est clair que si une face d'extrémité d'un bloc ne reculait pas à exactement 90° de sa face avant ni ne s'élevait vraiment verticalement vers le haut à partir de la surface inférieure horizontale, alors de tels blocs ne pourraient pas être installés n'importe où ; chaque bloc devrait être spécialement adapté à son bloc voisin. Les surfaces de joint montantes des blocs de revêtement restants sur la face nord de la Grande Pyramide s'étendent vers l'arrière à partir des faces avant à 90° et s'élèvent verticalement vers le haut à partir des surfaces inférieures horizontales. Dans les bâtiments, les blocs de pierre ont souvent des joints montants à emboîtement oblique. La principale raison pour laquelle il était peu probable que les faces d'extrémité soient à 90° par rapport aux faces avant et inférieure était due à l'exploitation de carrières ; il était plus facile d'adapter les faces obliques des blocs, s'ils étaient extraits de cette façon, plutôt que de rendre toutes les faces d'extrémité perpendiculaires aux surfaces avant et inférieure - une perte de temps et de pierre. On ne sait pas maintenant si les blocs de revêtement installés ailleurs dans la Grande Pyramide avaient des joints obliques. Cependant, de tels blocs emboîtés les uns aux autres

doivent posséder des surfaces d'extrémité parallèles. Si cette condition peut facilement être remplie, l'articulation montante ne devient pas un problème. Comment cela a-t-il pu être réalisé avec des blocs-caissons mégalithiques ?

Les maçons de Zoser de la Troisième Dynastie ne correspondaient pas à toute la zone du joint montant entre deux blocs de revêtement adjacents. Clarke et Engelbach ont remarqué que la partie avant étroitement ajustée de l'articulation ne s'étendait vers l'intérieur que sur au plus 5 cm.¹⁹ Le joint est alors devenu large et irrégulier, étant rempli de mortier de gypse.

Petrie a pris des mesures minutieuses des joints ascendants de plusieurs des grands blocs de revêtement restants dans la Grande Pyramide (Figures 7.7, 7.8). Il a constaté que l'épaisseur moyenne des joints verticaux de 1,90 m est de 0,02 pouce (0,5 mm), et que par conséquent la variation moyenne de la taille de la pierre d'une ligne droite, et d'un angle de 90° avec la surface inférieure d'un bloc, n'est que de 0,01 pouce (0,25 mm).²⁰ Petrie a noté que les faces d'extrémité de ces blocs particuliers (figure 7.9) mesurent environ 35 pieds carrés (3,3 m²) chacun dans la zone, et ont non seulement travaillé aussi finement que cela, mais cimenté tout au long.²¹

A Saqqarah, au début des années 1950, MZ Goneim a fouillé un mur de la Troisième Dynastie, construit par Sekhemkhet, en blocs de calcaire Tura taillés. Le mur, qui est crénelé, portait encore des lignes de nivellement, faites en étirant une corde trempée dans de la peinture rouge sur la surface et en la « retournant ». ²² Goneim a également remarqué des marques rouges sur les blocs. Il a osé l'opinion que leur douceur pourrait être testée en utilisant



Illustration 7.7 Un joint montant entre deux grands blocs de tubage dans la Grande Pyramide



Figure 7.8 Gros plan du joint montant illustré à la Figure 7.07



Illustration 7.9 La surface d'extrémité d'un bloc de boîtier sur le côté nord de la Grande Pyramide

une plaque de parement trempée dans de la peinture rouge, qui laissait une marque sur les points hauts.²³ Petrie a également commenté l'utilisation de plaques de parement. Il a observé que les blocs de coffrage en calcaire tendre étaient dressés par des piquetages ou des herminettes très fins, et que de véritables avions, enduits d'ocre, étaient utilisés pour tester l'ouvrage afin de s'assurer de sa précision.²⁴

R. Engelbach pensait que les faces des obélisques étaient habillées de boules de dolérite jusqu'à ce qu'elles soient aussi plates que possible, des tests étant faits en leur appliquant un plan plat portatif enduit d'ocre rouge et d'huile.²⁵ Selon Petrie, la surface d'une pierre était considérée comme suffisamment plate si l'ocre rouge touchait la pierre à des intervalles ne dépassant pas un pouce.²⁶

Outre les marques d'ocre rouge, il n'y a aucune preuve directe pour soutenir l'utilisation de plaques de parement pour tester la planéité de la surface dans l'Égypte ancienne. Aucune plaque de parement ancienne n'a été découverte et aucune trace connue n'a été laissée pour illustrer leur utilisation. La plaque de parement moderne est généralement en fonte, avec des nervures à l'arrière pour assurer la rigidité. Elle doit être plus grande que la zone à tester, pour tenir compte des mouvements de glissement effectués lors du marquage de la surface du matériau, et la surface de la plaque doit être extrêmement plane et très polie. La plaque est utilisée horizontalement, et même une petite est lourde. Afin de tester si une surface métallique usinée est complètement plate, une plaque de revêtement est légèrement enduite de ruddle rouge, un mélange de plomb rouge et d'huile, retournée et frottée plusieurs fois sur la surface du métal. Les points hauts sont marqués en rouge, et ceux-ci sont grattés avec un grattoir plat. Cette procédure peut être répétée plusieurs fois avant qu'une surface soit considérée comme vraiment plate.

Si l'on suppose qu'une plaque de parement a été utilisée pour tester les faces d'extrémité sur les blocs de tubage les plus grands, voire de taille moyenne, de la Grande Pyramide, alors une plaque de parement plus grande que les faces d'extrémité aurait été nécessaire, sinon les faces pourraient finir courbées. Une telle plaque de parement devrait être très rigide. Qu'est-ce que ça pourrait avoir

été fabriqué à partir de? Le bois se déforme avec les différences de chaleur et d'humidité, et on ne peut pas compter sur lui pour conserver sa forme. Pierre, peut-être ? Un parement en pierre serait très lourd et extrêmement difficile à manier ; la plaque aurait besoin de glisser sur la surface sur laquelle on travaille toutes les quelques minutes. Si plaques de parements *ont*à rejeter, comment expliquer les marques d'ocre rouge retrouvées sur les surfaces planes de pierre ? Cette question sera examinée dans une section ultérieure.

Le jeu de tiges et de ficelle Kahun

En 1883, Petrie a déclaré que la méthode égyptienne pour dresser de gros blocs de pierre sur une vraie surface consistait à exécuter des coupes à la scie d'environ un demi-pouce (1,27 cm) de tous les côtés; la surface a ensuite été dressée au marteau, presque jusqu'au plan des coupes.²⁷ Petrie pensait que l'habillage fin de la surface d'un bloc était obtenu en tenant deux tiges de bois debout sur la face, une ficelle étant tendue entre les sommets des tiges. Ensuite, un maçon tenait une tige de longueur égale sur n'importe quel point de la pierre, et l'épaisseur de la tige se tenant au-dessus de la ficelle montrait combien de pierre devait être ciselée.²⁸ Petrie était arrivé à cette conclusion après avoir vu une peinture de la procédure dans la tombe de Rekhmire à Thèbes (Figure 7.10).²⁹ Dans cette illustration, quatre tiges sont utilisées, deux pour étirer la corde et deux pour tester la hauteur de la corde par rapport à la pierre ; un troisième ouvrier dresse la surface. Comme dans de nombreuses autres scènes de tombes, l'artiste effectue plusieurs opérations simultanées, au lieu de consécutives. En réalité, les contrôleurs de surface suivaient les maçons pour vérifier leur travail, laissant des traces d'ocre rouge sur la pierre. Plus tard, les maçons reviendraient pour faire plus de travaux, qui seraient encore testés; de nombreux blocs seraient à différents stades d'achèvement. Au cours de ses fouilles dans la ville ouvrière de la XIIe dynastie de Kahun,³⁰ Petrie a trouvé un ensemble de trois tiges de bois, maintenant MM 28, parmi les blocs de fondation d'un temple (voir Figure 7.4). Un ensemble de tiges de la XVIIIe dynastie provenait du temple d'Hatchepsout à Deir el-Bahri (MMA 23.3.169).

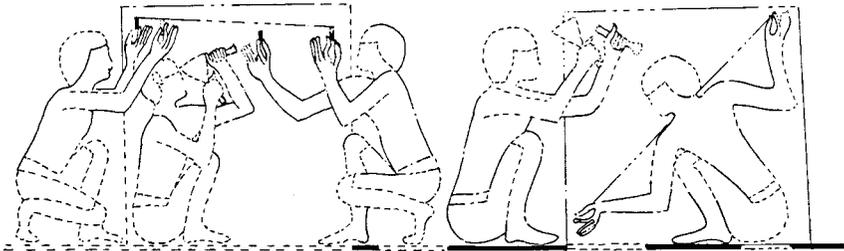


Figure 7.10 Vérification de la planéité de la surface à l'aide de tiges et de ficelle (à gauche) et vérification en diagonale pour la planéité, en utilisant uniquement une corde tendue (à droite). Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Ré ' à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LXII. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

Toutes les tiges en bois Kahun sont plates à chaque extrémité, deux d'entre elles avec des trous pour insérer et attacher la ficelle de connexion ; un trou a été percé vers le haut à un angle de la circonférence de la tige, de sorte qu'il sorte au centre de l'extrémité supérieure de la tige. Les trous semblent avoir été faits pour une ficelle de 2 mm de diamètre. La troisième tige est lisse. Petrie les a mesurés et a trouvé que leurs longueurs étaient de 4,96 pouces (12,6 cm), égales à deux ou trois millièmes de pouce près.³¹ Les mesures de Petrie des tiges de Kahun sont un élément d'information clé dans l'établissement de cet ancien outil. *mode opératoire*. Un ensemble de tiges de la XIIe dynastie, mesurant 8,6 cm de long, a été trouvé à Beni Hasan,³² et un ensemble de la XVIIIe dynastie mesurant 18,5 cm de long à Thèbes ; cet ensemble de trois tiges était encore lié avec sa ficelle.³³ En raison de la précision des surfaces des grands blocs à Gizeh, il est fort probable que cet outil de test de surface ait été largement utilisé pendant l'Ancien Empire. Les répliques de tiges et de cordes pourraient-elles être utilisées pour tester, et donc diriger, les surfaces de pierre vers la planéité mesurée par Petrie à Gizeh et, par conséquent, pour indiquer leur présence dans la quatrième dynastie ?

Afin que cette hypothèse puisse être examinée, un ensemble de trois tiges a été fabriqué à partir d'une branche d'arbre appropriée, qui avait été préalablement dépouillée de toute son écorce et laissée sécher pendant deux ans (Figure 7.11).³⁴ Les trois tiges ont été fabriquées à une longueur similaire, et cela a été accompli en plaçant deux lourdes pierres dans le sol, de sorte que l'écart minimum entre deux projections opposées devienne légèrement inférieur à la longueur de la tige la plus courte. Cet étrier extérieur rudimentaire, mais efficace, garantissait que les trois tiges, lorsque chacune avait été conçue précisément pour s'adapter entre elles, étaient en effet un *assortiment* ; les longueurs des tiges étaient finement ajustées en frottant leurs extrémités sur un bloc de grès. La longueur de chaque tige a été vérifiée avec un pied à coulisse et toutes étaient égales dans une tolérance de plus ou moins 0,005 cm

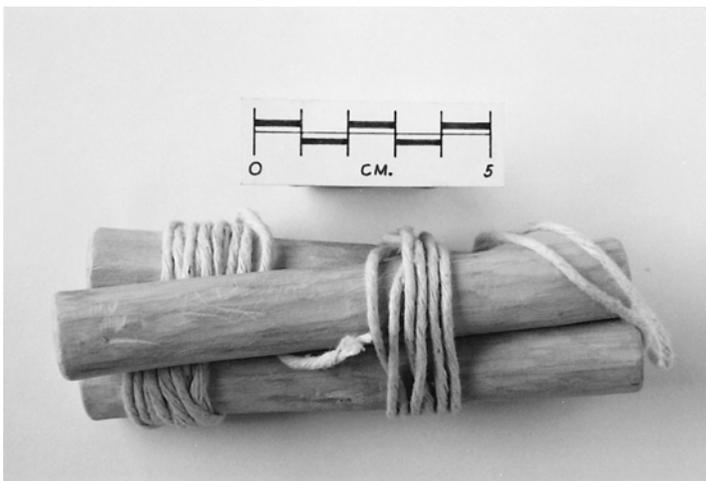


Illustration 7.11 Une réplique d'un ensemble de tiges, enroulées avec sa ficelle

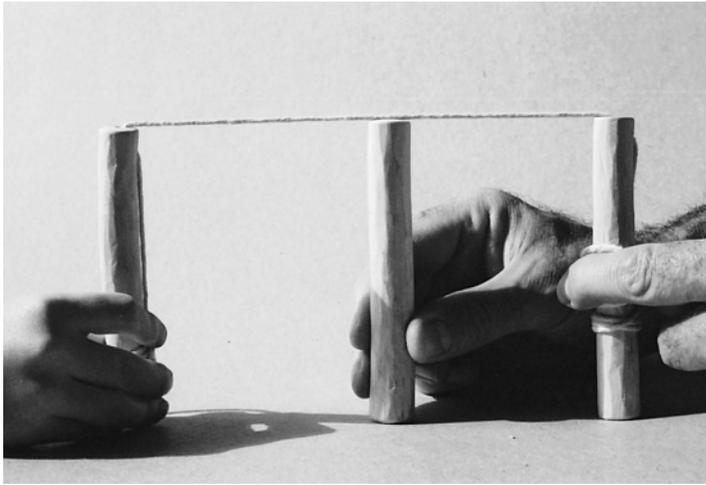


Illustration 7.12 Les tiges et la ficelle prêtes à tester une surface pour la planéité

(deux millièmes de pouce). Peu importe que les longueurs réelles des tiges antiques fussent inconnues du maçon : les jeux de tiges en notre possession ne sont pas conformes à une mesure standard. Les mesures de Petrie indiquent, et les expériences confirment, que les anciens artisans étaient capables de fabriquer des ensembles de tiges assortis à ces tolérances. Deux tiges ont été percées et la ficelle enfilée et attachée dans chaque tige (Figure 7.12).

Quelques utilisations anciennes des tiges et de la ficelle

Martin Isler^{35a} a fait quelques observations intéressantes en ce qui concerne l'utilisation de tiges et de cordes pour tester les surfaces des obélisques. Dans son article sur les obélisques de granit de Louxor, dont l'un se trouve à Paris, en France, l'autre toujours dans le temple de Louxor, il fait d'abord référence aux mesures de l'obélisque de Paris, qu'Henry Gorrings³⁶ fait en 1882. Gorrings a noté que la face nord-ouest de l'obélisque, telle qu'elle se trouvait à l'origine dans le temple de Louxor avant son retrait, était longitudinalement convexe et que la face sud-est opposée était concave longitudinalement; l'obélisque mesure 25 m de long. Sur cette longueur, la face convexe nord-ouest présente une déviation maximale de 2 cm par rapport à une ligne droite, tandis que la face concave sud-est présente une déviation maximale de 1,27 cm par rapport à une ligne droite. L'obélisque de Louxor a une convexité et une concavité longitudinales similaires sur deux faces opposées.

Isler^{37a} a proposé qu'après que la forme de l'obélisque ait été marquée sur une surface appropriée dans la carrière, deux creux aient été coupés à angle droit par rapport à son axe longitudinal, un à chaque extrémité. Les auges ont été nivelées en testant leurs surfaces avec un cadre en « A ». Une ficelle était alors tendue entre deux tiges, chaque tige se tenant debout dans son creux nivelé. La surface supérieure de l'obélisque serait nivelée avec des outils en pierre, sa planéité étant testée à l'aide de la troisième tige assortie pour vérifier la

espace sous la corde sur toute sa longueur. Calculs mathématiques³³⁸ montrent que, sur une longueur de 25 m, une tension de 14 kg de force dans une corde de 2 mm de diamètre lui permettrait de s'affaisser de 1,27 cm en son point central. Ce cordage de diamètre résiste facilement à une traction de 14 kg. La surface finie de l'obélisque suivrait la courbe caténaire de la corde et deviendrait concave.

Des tranchées ont ensuite été creusées autour du périmètre de l'obélisque. Si, comme le suggère Isler, des mesures directes étaient prises à partir de la surface supérieure finie et transférées à la surface inférieure projetée, cela rendrait cette surface convexe. Les deux côtés verticaux resteraient vraiment droits, car une corde tendue entre les tiges maintenues contre une surface verticale ne s'affaisserait pas vers elle. Un cadre d'essai vertical pourrait être utilisé pour vérifier que les surfaces étaient bien verticales. Isler a également suggéré qu'une ligne médiane a été tracée sur l'une des surfaces verticales avec des tiges et de la ficelle, et que des mesures ont été prises à partir de cette ligne pour obtenir la surface inférieure. Naturellement, la corde étirée se courberait de la même manière vers le bas et provoquerait toujours la convexité de la surface inférieure. Il est plus difficile de tenir les tiges sur une surface verticale qu'horizontale, et la corde serait moins tendue. Les calculs montrent qu'une tension de 9 kg de force dans la corde permettrait un affaissement de 2 cm. Cela peut expliquer que la face inférieure (nord-ouest) ait une courbure différente de la face supérieure (sud-est).

Les expériences actuelles³³⁹ a commencé par obtenir une surface horizontale, dont la planéité a été vérifiée avec une longue règle en acier. Les tiges d'essai ont été mises en place, avec la corde tendue autant que possible. Les mesures ont indiqué que, sur une longueur de 120 cm, la corde s'affaissait en son centre d'environ 0,25 mm (0,01 pouce), la précision des surfaces d'extrémité des blocs de boîtier mesurée par Petrie à Gizeh.

Plus tôt dans ce chapitre, l'utilisation suggérée de plaques de parement légèrement enduites d'ocre rouge a été discutée et rejetée. La tombe de Rekhmire à Thèbes contient la seule scène représentant l'utilisation de tiges et de ficelles dans l'Égypte ancienne. Dans le bloc de gauche,⁴⁰ les maçons testent une surface verticale ; comme mentionné précédemment, la courbe caténaire de la corde n'influence pas la préparation des surfaces verticales. Les maçons peuvent déplacer la corde horizontale vers le bas jusqu'au bas du bloc, en vérifiant les points hauts pendant qu'ils le faisaient. Naturellement, ils pourraient tester la planéité de la surface en déplaçant une corde verticale *de l'autre côté* visage du bloc. Alternativement, ils peuvent maintenir la tige de gauche immobile sur un bord déjà aplati (une référence ou un point de référence) et balancer lentement la corde tendue en arc de cercle. Chaque coin du bloc peut être traité de manière similaire. En fait, toutes les méthodes auraient pu être utilisées, et celles-ci auraient assuré que la surface ne se courberait dans aucune direction. Enfin, comme illustré sur le bloc de droite, un ouvrier ou un surveillant vérifiait le résultat en posant une ficelle tendue à plat sur la surface en diagonale (voir Figure 7.10). Une vérification de ce type ferait bientôt apparaître même les moindres espaces sous la chaîne.

Les ouvriers testant la planéité de la surface auraient pu facilement tamponner les points hauts avec un bout de doigt enduit d'ocre rouge, là où les tiges de test indiquaient ces positions. Par la suite, d'autres maçons ont dressé ces pointes, d'abord avec des ciseaux ou

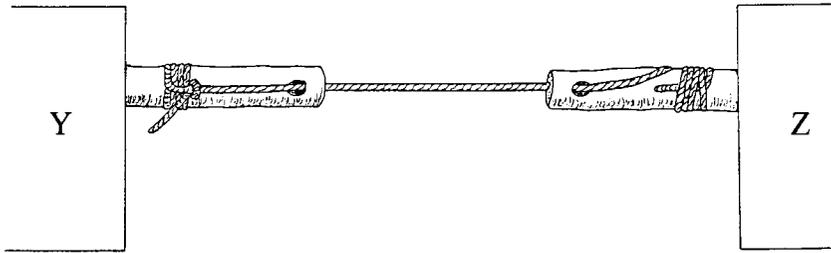


Illustration 7.13 Les tiges et les cordes agissant hypothétiquement comme un étrier intérieur entre deux blocs, Y et Z. (Pas à l'échelle)

herminettes, mais plus tard, des caoutchoucs de grès ont probablement été utilisés pour les finitions finales. Au fur et à mesure que l'œuvre se rapprochait d'une surface plane, l'espacement entre les traces de doigts ocre rouge diminuait. À la fin de toutes les procédures, la troisième tige doit juste toucher le dessous de la corde sur toute sa longueur. Cependant, sur une surface horizontale, la courbe caténaire de la corde a trompé le maçon en la rendant légèrement concave.

De quelle autre manière les tiges et les cordes anciennes auraient-elles pu être utilisées ? La ficelle sort d'un trou au sommet de chaque tige. Si les tiges et la ficelle sont étirées en ligne droite, l'outil peut maintenant être utilisé comme pied à coulisse intérieur. De cette manière, le parallélisme entre les surfaces des joints montants des blocs de pierre adjacents pourrait être testé avant de les intégrer dans un bâtiment (Figure 7.13).

Afin de résumer les preuves expérimentales et de suggérer une méthode d'assemblage de deux gros blocs de calcaire, les blocs de revêtement de la Grande Pyramide ont été choisis à des fins d'illustration, même s'il n'existe aucune preuve directe que les tiges et l'outil à cordes aient été en usage au cours de la quatrième dynastie. Ces blocs particuliers ont été minutieusement mesurés et enregistrés par Petrie, et ils servent un but utile à cet égard.

Assemblage de deux blocs mégalithiques : une proposition

À Gizeh, entre 1880 et 1882, Petrie a formé l'opinion que l'enveloppe de la Grande Pyramide et une partie de la maçonnerie du noyau étaient planifiées. Il a remarqué que des lignes étaient tracées sur le boîtier et les blocs de base adjacents, montrant que les blocs avaient probablement d'abord été assemblés sur le sol en dessous.⁴¹

IES Edwards a convenu avec Petrie que les surfaces obliques des joints montants des blocs de coffrage adjacents, celles qui ne sont pas à angle droit avec le joint d'assise, ou qui ne sont pas parallèles à l'axe central de la pyramide, ainsi que les joints d'appui, étaient assemblés au sol avant les posant dans leurs positions finales sur la face de la pyramide.⁴²

Si l'hypothèse ci-dessus est prise en compte, alors deux blocs de carter à la fois devaient être montés sur une surface « d'essai et de montage » déjà préparée, aplanie et lissée. L'utilisation des tiges et de la ficelle, et d'un cadre en « A », aurait

Planéité et vrai niveau assurés. En ce qui concerne les surfaces inférieures, Edwards a également souligné que les premières pierres à être transportées jusqu'à la plate-forme seraient des noyaux de blocs provenant des carrières locales ; leurs côtés et leurs surfaces supérieures resteraient rugueux, mais les surfaces inférieures - les soi-disant joints de literie - seraient déjà plates et lisses.

Les surfaces supérieures des blocs de revêtement de la Grande Pyramide ont été commentées par Clarke et Engelbach. Ils remarquèrent que les sommets des blocs étaient habillés *après* ils avaient été posés et que cette procédure impliquait parfois une partie du bloc de base se trouvant immédiatement derrière le bloc de carter.⁴³

On supposera en outre que les maçons ont installé des blocs de revêtement le long de la face de la pyramide de gauche à droite ; il n'y aurait pas d'objection si les blocs étaient montés de droite à gauche. Les blocs individuels, en provenance des carrières de calcaire de Tura, ont été sélectionnés car leurs longueurs étaient adaptées à la pose par rapport aux joints montants des blocs en dessous. Ces blocs seraient marqués de lignes tracées sur leurs surfaces horizontales. Il faut souligner que chaque bloc de revêtement de la Grande Pyramide devait être adapté au bloc préalablement préparé maintenant prêt à être mis en place dans la rangée de blocs sur la face de la pyramide (Figure 7.14).

Une méthode proposée pour assembler deux blocs mégalithiques peut être résumée à l'aide de la figure 7.13. Le bloc de gauche Y aurait déjà eu son joint d'assise inférieur aplani et lissé et sa surface de joint montant gauche ajustée à la surface de joint montant droit du bloc précédent. Ce dernier bloc aurait, à ce jour, été mis en place le long de la ligne de pierres de coffrage déjà assemblées dans la pyramide. La face droite du joint montant du bloc Y aurait également été aplani et lissée à l'aide des tiges et de la ficelle. Cet équipement serait désormais utilisé pour tester la planéité de la face inférieure du bloc Z.



Illustration 7.14 De grands blocs de pierre ont été fabriqués pour s'adapter aux blocs adjacents

Le bloc Z serait maintenant retourné de manière à ce que les deux blocs, Y et Z, soient en position sur la surface «d'essai et d'assemblage». La surface du joint montant gauche du bloc Z doit maintenant être aplanie et lissée et, en même temps, rendue parfaitement parallèle à la surface du joint montant droit du bloc Y. Pour parvenir à ce résultat, il est proposé que les tiges et la ficelle ont été utilisées comme étrier intérieur en conjonction avec l'utilisation normale d'un autre ensemble de tiges et de ficelle.⁴⁴Ces opérations devaient être exécutées par des maçons qualifiés, assistés d'ouvriers qui manœuvraient pour eux les lourds blocs.

Après avoir obtenu un résultat satisfaisant dans l'alignement de ce joint montant, le bloc de gauche Y, dont la face avant avait été grossièrement dressée à l'angle de la pyramide, serait maintenant enfoncé en position dans la pyramide. Afin que des leviers et des cordes puissent être utilisés pour aider à manœuvrer le bloc en position, les maçons ont laissé des saillies, appelées bossages, sur la face extérieure de chaque bloc de boîtier : des découpes pour les leviers étaient parfois faites à la base d'un bloc. Après le montage, sa surface supérieure pourrait être aplanie et rendue vraiment horizontale à l'aide de tiges et de ficelles et d'un 'A'



Illustration 7.15 Blocs de tubage ajustés avec précision au sommet de la pyramide de Khafré à Gizeh

Cadre. Ce système garantissait que les surfaces supérieure et inférieure de tout bloc devenaient parallèles, ce qui était essentiel pour rendre chaque couche complète de blocs horizontale dans toute la pyramide.

Le bloc droit Z nécessitait maintenant que son joint montant droit soit aplati et lissé; il deviendrait alors le nouveau bloc de gauche et occuperait la position Y sur la surface « essai et assemblage ». Un nouveau bloc Z devait maintenant être placé à droite du bloc Y : ainsi, la procédure d'ajustement, décrite ci-dessus, pouvait être répétée. Ainsi, le tubage avancerait rang par rang (figure 7.15).

En résumé, la principale exigence pour construire avec des blocs de pierre mégalithiques est que chaque bloc doit être adapté à son voisin, et le maçon égyptien a développé trois outils de test de surface dans ce but précis. En particulier, les tiges et l'outil à cordes auraient pu diriger l'aplatissement précis de la surface de gros blocs de noyau et de tubage. Par conséquent, la présence de l'outil à Gizeh peut être suggérée avec une confiance considérable.

Frottement et force : la physique à la rescousse

L'artisan égyptien luttait toujours contre la gravité et la friction lorsqu'il déplaçait de gros blocs de pierre (figure 7.16). Considérons la force nécessaire pour faire glisser les blocs de revêtement les uns sur les autres dans la Grande Pyramide. CA Coulomb⁴⁵ ont mené un grand nombre d'expériences relatives à la question du frottement entre des surfaces propres et sèches. Les résultats de Coulomb sont à la base des lois du frottement, et S. Timoshenko et DH Young⁴⁶ les ont résumés comme suit :



Illustration 7.16 De grands blocs de pierre ajustés avec précision à leurs piliers de soutien dans l'Osireion à l'arrière du temple d'Abydos

- 1 Le frottement total qui peut être développé est indépendant de la grandeur de la zone en contact.
- 2 Le frottement total qui peut être développé est proportionnel à la force normale. (La force normale est la force agissant sur deux surfaces pressées l'une contre l'autre.)
- 3 Pour les faibles vitesses de glissement, le frottement total qui peut être développé est pratiquement indépendant de la vitesse, bien que des expériences montrent que la force F nécessaire pour *démarrer* le glissement est supérieur à celui nécessaire pour *maintenir* le glissement.

La formule $F = \mu N$ exprime ces lois de frottement, où μ (mu) est appelé le coefficient de frottement et N est la force normale – exprimée en Newtons. (Une force normale de 1 kg pressant deux surfaces ensemble est égale à 9,8 Newtons au niveau de la mer.) Si F est pris comme la force nécessaire pour *démarrer* le glissement, μ est appelé coefficient de frottement statique. Si F est pris comme la force un peu plus petite nécessaire pour *maintenir* le glissement, μ est appelé coefficient de frottement cinétique. Dans cette étude, seule la plus grande force nécessaire pour commencer le glissement sera considérée.

Les essais de glissement ont exigé qu'une surface de chacun des deux petits blocs de calcaire tendre soit aplanie et lissée avec une tolérance de 0,25 mm (figure 7.17). Les surfaces planes et sèches des blocs préparés ont été placées en contact, un bloc au-dessus de l'autre, le bloc inférieur étant lentement incliné jusqu'à ce que le bloc supérieur commence à peine à glisser sur sa surface. Plusieurs tests ont révélé un angle d'inclinaison moyen de $36^{\circ}.47$. La tangente de cet angle donne un coefficient de frottement statique de 0,73.

Plusieurs essais de glissement ont été répétés avec du mortier liquide appliqué sur la surface supérieure du bloc inférieur. Le bloc supérieur a maintenant commencé à glisser à un angle moyen



Illustration 7.17 Deux petits blocs de calcaire, chacun avec une surface aplanie à une tolérance de 0,25 millimètres



Illustration 7.18. Le test de glissement lubrifié à l'aide des blocs de calcaire préparés

de 8°, donnant un coefficient de frottement statique de 0,14 (figure 7.18). D'autres expériences ont révélé qu'un patin de luge en bois sur de la boue liquide produisait un coefficient de frottement statique similaire.

L'un des blocs de revêtement existants du côté nord de la Grande Pyramide pèse environ 16 300 kg. Pour trouver la force, F , pour faire glisser ce bloc à sec sur une surface de pierre plane et lissée, son poids doit d'abord être converti en force normale, N , en newtons, c'est-à-dire $16\,300 \times 9,8 = 159\,740$ Newtons. La force de glissement, F , peut maintenant être calculée en multipliant le coefficient de frottement statique de 0,73 par la force normale, N . $F = 116\,610$ Newtons. Pour trouver la force, F , en démarrant le même bloc glissant sur une surface lubrifiée avec du mortier liquide, le coefficient de frottement statique de 0,14 doit être utilisé. $F = 22\,363$ Newtons.

Ces résultats montrent que sur *Fijefois* moins de force est nécessaire pour démarrer un bloc lubrifié en mouvement que celle d'un bloc sec. Ce facteur de réduction de cinq s'applique à tous les blocs, quels que soient leur poids et leur surface de contact.

Dans la tombe de la XIIe dynastie de Djehutihotep, à el-Bersheh,⁴⁸ En Haute-Égypte, il y a une illustration d'une statue en albâtre de lui, censée peser environ 60 tonnes; 172 hommes le tirent sur une surface plane sur un traîneau. Un homme verse du liquide, probablement de l'eau, devant les patins du traîneau pour maintenir une piste boueuse. Les calculs montrent que chaque ouvrier devait tirer avec une force de 478 Newtons (environ 49 kg) pour que la statue se déplace du repos.

L'illustration de Djehutihotep suggère qu'un travailleur était capable d'initier et de maintenir une force de traction d'environ 500 Newtons (environ 50 kg). Ainsi, environ 45 ouvriers auraient pu démarrer un bloc lubrifié de 16 300 kg se déplaçant sur une surface horizontale. Une fois démarré, la force nécessaire pour maintenir le bloc en mouvement chuterait, lui permettant d'être tiré vers l'avant à un rythme constant. Un bloc de carter de la Grande Pyramide lubrifié plus petit d'environ 2 750 kg, ce poids calculé à partir de la taille moyenne des blocs de noyau et de carter, nécessitait une force initiale de 3 770 Newtons (environ 385 kg). Huit travailleurs pourraient facilement démarrer un bloc de ce poids en le déplaçant sur une surface plane.

L'expérience avec le patin de luge lubrifié à la boue explique pourquoi l'angle de pente de certaines rampes anciennes (figure 7.19) était inférieur à 8°. Par exemple, un papyrus de la XIXe dynastie au British Museum⁴⁹ donne quelques mesures pour une rampe hypothétique. Un scribe, Hori, demande à un autre scribe, Amenemope, combien de briques sont nécessaires pour faire une rampe de 730 coudées (383,25 m) de longueur, 55 coudées (28,9 m) de largeur et une hauteur de 60 coudées (31,5 m). Les calculs indiquent que la pente de la rampe est de 1 sur 12, soit près de 5°. La pente de la rampe laissée dans le temple funéraire inachevé de Menkaure de la IVe dynastie est d'environ 1 sur 8, soit un peu plus de 7°.⁵⁰ En outre, deux rampes de chargement en pierre, creusées à l'extrémité sud de la région de Gebel el-Asr, Basse Nubie,⁵¹ où le gneiss y était extrait des carrières, toutes deux mesuraient environ 9 m de long et 1,2 m de haut à l'avant, donnant là encore une pente de 7°.

Les lois glissantes stipulent que *deux fois* la force pour tirer un bloc le long d'une surface plane est nécessaire pour tirer un bloc vers le haut d'une pente à un angle égal à l'angle auquel il est sur le point de glisser vers l'arrière⁵² – près de 8° sur une rampe lubrifiée à la boue et près de 36° sur une surface de rampe sèche. La pente d'une rampe lubrifiée idéale est de 1 sur 8. Cependant, une

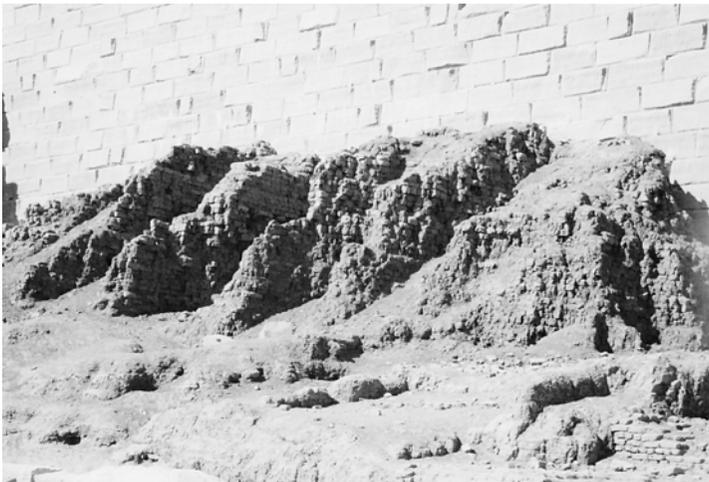


Illustration 7.19 Vestiges d'une rampe en briques de boue dans le temple de Karnak, Louxor

une rampe de 1 sur 12 est tout à fait adéquate, éliminant complètement le risque qu'un bloc sans surveillance glisse vers l'arrière. Des rampes inclinées vers le haut à 8°, et plus, sont susceptibles d'avoir été utilisées à sec, car il est à la fois contre-productif et dangereux de lubrifier une telle rampe.

IES Edwards⁵³ privilégie une seule rampe d'approvisionnement, construite à 90° par rapport au flanc d'une pyramide, pour hisser les blocs.⁵⁴ Les calculs montrent que si une rampe de 7° (1 sur 8) était construite dans l'Antiquité, elle devait avoir une longueur maximale de 1 100 m. C'est environ trois fois plus long que la rampe hypothétique du papyrus du British Museum. Cependant, en changeant la direction de la rampe sur plusieurs virages, elle n'a pas eu besoin de s'étendre de 1 100 m en ligne droite depuis la face de la pyramide tout en conservant une inclinaison similaire sur toute sa longueur.

Petrie a estimé que les maçons qualifiés employés en permanence à Gizeh pour la construction de la Grande Pyramide étaient au nombre de 3 400 à 4 000.⁵⁵ Hérodote a déclaré avoir été informé que le nombre d'ouvriers employés pour transporter les pierres lors de l'inondation était de 100 000, la pyramide étant construite en 20 ans.⁵⁶ Cependant, des fouilles récentes menées sur un site industriel de la IVe dynastie à Gizeh par Zahi Hawass et Mark Lehner,⁵⁷ et des évaluations ultérieures des preuves archéologiques et scientifiques, indiquent qu'un maximum de 20 000 maçons et ouvriers égyptiens qualifiés ont été employés pendant 20 ans pour construire la Grande Pyramide.

Les expériences avec les trois répliques d'outils de test de surface indiquent leur présence à Gizeh sous la IVe dynastie : elles auraient, à elles seules, permis aux artisans de préparer avec précision les blocs de calcaire emboîtés dans la Grande Pyramide de Gizeh. Les expériences de glissement ont révélé des avantages significatifs dans le déplacement de blocs de pierre et de traîneaux chargés le long de surfaces horizontales et de rampes lubrifiées au mortier et à la boue.

Remarques

- 1 H. Junker, *Gizeh*, Vienne et Leipzig : Hinrichs, vol. I, 1929, p. 96-9 ; D. Arnold, *Construire en Egypte : la maçonnerie de pierre pharaonique*, New York : Oxford University Press, 1991, fig. 1.13.
- 2 WMF Petrie, *Outils et Armes*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1917, p. 42, pl. XLVIII, B64, 65.
- 3 Ibid., B66.
- 4 Ibid., B64-89.
- 5 IES Edwards, *Les pyramides d'Egypte*, Harmondsworth : Viking, 1986, p. 265-7, fig. 54-6. Pour le *merkhet* et *baievoir* L. Borchardt, 'Ein altägyptisches astronomisches Instrument', *ZÄS* 37, 1899, p. 10-17.
- 6 CM JE27258 (cadre 'A') et JE27260 (cadre vertical). Pour des illustrations, voir Petrie, *Outils et Armes*, PL. XLVII, B57, 59.
- 7 DA Stocks, 'Industrial technology at Kahun and Gurob: experimental manufacture and test of replica and reconstructed tools with specified uses and effects on artefact production', thèse non publiée, University of Manchester, 1988, vol. II, p. 368. Idem, p. 369.
- 8 369.
- 9 N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-RTM à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LV.

- dix WMF Petrie, *Kahun, Gurob et Hawara*, Londres : Kegan Paul, Trench, Trübner, and Co., 1890, p. 27, pl. IX, 13.
- 11 Edwards, *Pyramides d'Égypte*, p. 284.
- 12 S. Clarke et R. Engelbach, *Maçonnerie égyptienne antique*, Oxford : Oxford University Press, 1930, p. 78–80.
- 13 Ibid., p. 78–9.
- 14 WB Emery, *Égypte archaïque*, Harmondsworth : Penguin Books, 1984, p. 181.
- 15 WMF Petrie, *Les temples et pyramides de Gizeh*, Londres : Champ et Tuer, 1883, p. 210, note inférieure. Les mesures de Petrie de 50×50×28 pouces ont été convertis en centimètres.
- 16 Où la densité du calcaire est de 2,4 g/cm³. Petrie a utilisé la tonne britannique (2 240 livres = 1018 kg) pour ses calculs de poids.
- 17 Pétrie, *Pyramides*, p. 44.
- 18 J.-P. Lauer, *Histoire Monumentale des Pyramides d'Égypte*, Le Caire : Imprimerie de l'Institut Français d'Archéologie Orientale, 1962, vol. Je, pl. V.
- 19 Clarke et Engelbach, *AEM*, p. 97, fig. 92, 94.
- 20 Pétrie, *Pyramides*, p. 44 ; WMF Petrie, 'La construction d'une pyramide', *AE*, 1930, vol. II, p. 34.
- 21 Pétrie, *Pyramides*, p. 44.
- 22 MZ Goneim, *La pyramide enterrée*, Londres : Longmans, Green and Company, 1956, p. 40.
- 23 Ibid., p. 42.
- 24 Pétrie, *Pyramides*, p. 213.
- 25 R. Engelbach, *Le problème des obélisques*, Londres : T. Fisher Unwin, 1923, p. 80.
- 26 WMF Pétrie, *Les arts et métiers de l'Égypte ancienne*, Édimbourg et Londres : TN Foulis, 1909, p. 72. Pétrie,
- 27 *Outils et Armes*, p. 42. Idem.
- 28
- 29 Davies, *Rekhamirê*, II, pl. LXII.
- 30 Pétrie, *Kahun*, p. 27. Idem.
- 31
- 32 Pétrie, *Outils et Armes*, p. 42, pl. XLIX, B49.
- 33 Clarke et Engelbach, *AEM*, figure. 265.
- 34 DA Stocks, 'Techniques expérimentales d'ajustement de blocs de pierre : utilisation proposée d'une réplique d'un outil égyptien ancien', *Le bulletin archéologique de Manchester* 2, 1987, p. 46, fig. 24; Stocks, 'Technologie industrielle', vol. II, p. 274–92, 369, pl. XXVII, a, b.
- 35 M. Isler, 'Les curieux obélisques de Louxor', *JEAT* 3, 1987, p. 137–47.
- 36 Son Altesse Gorringe, *Obélisques égyptiens*, Londres : JC Nimmo, 1885, p. 83. Isler, «
- 37 Les curieux obélisques de Louxor », p. 139, fig. 5.
- 38 S. Timochenko et DH Young, *Ingénierie Mécanique*, Tokyo : McGraw Hill Kogakusha Ltd, 1956, p. 162–7.
- 39 Stocks, 'Technologie industrielle', vol. II, p. 274–92.
- 40 Davies, *Rekhamirê*, vol. II, pl. LXII. Pétrie, *Pyramides*, p.
- 41 212. Edwards, *Pyramides d'Égypte*, p. 284. Clarke et
- 42 Engelbach, *AEM*, p. 100. Stocks, 'Technologie
- 43 industrielle', vol. II, fig. 62.
- 44
- 45 CA Coulomb, *Théorie des machines simples*, Paris : Bachelier, 1821.
- 46 Timochenko et Young, *Ingénierie Mécanique*, p. 50.
- 47 Lors d'essais de glissement à sec, à l'aide de blocs de craie, l'angle moyen auquel le glissement a commencé était de 37° (DC Cawsey et NS Farrar, « Un appareil de glissement simple pour la mesure du frottement des joints de roche », *Géotechnique*, juin 1976, vol. XXVI, p. 382–6).

- 48 PE Newberry, *El-Bersheh*, Londres : Egypt Exploration Fund, 1895, vol. Je, pl. XV.
- 49 Papyrus Anastasi I (BM 10247).
- 50 Edwards, *Pyramides d'Égypte*, p. 280.
- 51 I. Shaw, E. Bloxam, J. Bunbury, R. Lee, A. Graham et D. Darnell, 'Survey and excavation at the Gebel el-Asr gneiss and quartz quarries in Lower Nubia (1997–2000)', *Antiquité* 75, 2001, p. 33–4.
- 52 Timochenko et Young, *Ingénierie Mécanique*, p. 162–7.
- 53 Edwards, *Pyramides d'Égypte*, p. 282–3.
- 54 Pour un résumé complet des conceptions possibles de rampes pyramidales, voir Arnold, *Construire en Égypte*, p. 98–101, fig. 3.53. Pétrie, *Pyramides*, p. 211.
- 55
- 56 Hérodote, *Les Histoires Livre II*, Harmondsworth : Penguin Books, 1961, vol. VIII, p. 124.
- 57 M. Lehner, 'Cité perdue des pyramides', *L'Égypte révélée*, automne 2000, p. 42–57.

Partie III

RÉVOLUTION INDUSTRIELLE
DANS L'EGYPTE ANTIQUE

[*http://www.facebook.com/per.medjat*](http://www.facebook.com/per.medjat)

[*http://www.facebook.com/groups/per.medjat*](http://www.facebook.com/groups/per.medjat)

8

THÉBANE MASSE -PRODUCTION OUTILS

Premières techniques de fabrication de perles

La fabrication de perles a commencé à l'époque épi-paléolithique (environ 10 000 à 5 500 avant J.C.).¹ Au début, les artisans utilisaient des objets naturels, tels que des cailloux, des coquillages et des dents. À l'époque prédynastique, les perles étaient fabriquées à partir de cuivre, d'or, d'argent, de quartz et de stéatite émaillés bleu verdâtre, de noyaux et de pierres en faïence émaillée; ceux-ci comprenaient l'agate, la calcite, la cornaline, la diorite, le grenat, le calcaire et la serpentine.² Les formes de perles préférées des Égyptiens étaient les anneaux, les barils, les cylindres, les toupies convexes et les sphéroïdes, mais les amulettes et les pendentifs étaient également enfilés dans des cordes. Une classification et une nomenclature complètes des formes de perles ont été rassemblées par Horace Beck.³

Les perles de verre ont été fabriquées à partir de la cinquième dynastie en enroulant un mince fil de verre étiré autour d'un fil de cuivre;⁴ ou en fabriquant des perles à partir d'une tige ou d'une canne de verre (tube); ou en pliant le verre et en le coupant.⁵ Horace Beck a examiné des exemples de perles de verre tubulaires de la dix-huitième dynastie provenant d'une usine de verre à Tell el-Amarna.⁶ Les perles de faïence étaient généralement fabriquées autour d'un fil,⁷ qui a brûlé pendant la cuisson, mais les perles en forme de tube, en forme de tonneau et les perles en anneau et en disque ont été formées sur une tige plus épaisse. Certaines perles ont été trempées dans une solution de glaçage liquide avant la cuisson, mais voir le chapitre 9 pour d'autres méthodes de glaçage. Les perles de métal pouvaient être façonnées par martelage, mais les perles de pierre dure ont d'abord été formées en brisant des cailloux, puis en façonnant grossièrement les pièces en les écaillant avec des outils en silex, puis en les broyant sur des qualités de grès dures et plus lisses. Le polissage final a été obtenu en frottant le long de rainures creusées dans un banc en bois ou en pierre, qui s'éloignait de la polisseuse, les rainures étant remplies d'un abrasif de polissage liquide et finement broyé; cette technique est exposée dans la tombe de Sebekhotep de la XVIIIe dynastie à Thèbes.⁸

Des perforations de filetage dans des perles de pierre ont été percées avec des outils qui ont changé de forme et de matériaux au cours de milliers d'années. Le premier matériau utilisé pour percer des perles de pierre était le silex, mais finalement des forets en cuivre et en bronze ont été utilisés en conjonction avec un matériau abrasif fin. De petits silex pointus tenus à la main étaient tordus et tordus à l'envers sous pression. Cette action est démontrée par un artisan forant un sceau cylindrique dans la tombe de Ti de la Cinquième Dynastie à Saqqarah.⁹

Le foreur saisit le manche en bois de l'outil dans la main droite serrée, avec le sceau tenu près du corps dans la main gauche. Dans cette position, seules les torsions de l'avant-bras droit peuvent faire tourner l'outil. Bien que l'artisan tienne un manche en bois, il n'est pas clair si un outil en silex ou en cuivre y est enfoncé de force.

De nombreux trous de perles ont été produits en faisant des trous coniques sur les côtés opposés d'une perle, qui se sont rencontrés au milieu; l'outil en silex pointu en forme de pointe de flèche utilisé à cette fin peut avoir été monté dans un manche en bois ou directement utilisé à la main. Un bon exemple de cette technique est une perle de cornaline au Manchester Museum (5699). Gwinnett et Gorelick¹⁰ ont des expériences avec un outil en silex en forme de pointe de flèche, tordu dans le sens des aiguilles d'une montre et dans le sens inverse des aiguilles d'une montre par la main dans le marbre, ont démontré qu'une rotation incomplète de l'outil produisait un trou de forage de forme conique difforme. Il est probable que les premiers foreurs de perles égyptiens utilisaient des outils en silex en forme de pointe de flèche de la même manière pour les pierres tendres et dures. Cependant, il est possible pour un travailleur de produire un cône régulier en déplaçant occasionnellement la position du cordon par rapport au foret. Ceci est similaire à la façon dont la position d'un foreur de pierre en forme de huit est modifiée à l'intérieur d'un navire.

Les tests avec de petits silex en forme de pointe de flèche sur l'améthyste et la calcite ont déterminé que les pointes de silex sont endommagées lors du processus de torsion / torsion inverse. La surface d'un trou de forme conique, fait avec des silex pointus dans l'améthyste, présentait une surface dépolie et givrée, tandis que des trous similaires dans la calcite avaient de minuscules rainures irrégulières, similaires, si elles étaient agrandies, à celles faites avec des foreurs en croissant de silex dans le gypse. .

À Chanhudaro, Sind, une ville occupée par les gens de la culture Harappa entre ca. 3000 et 2500 avant JC, Ernest Mackay¹¹ a trouvé des forets de chert lors de fouilles menées en 1935-6. Mackay a suggéré que ces forets étaient entraînés avec un arc, et des marques concentriques ont été trouvées dans les légères dépressions faites dans leurs extrémités de forage, qui, selon Mackay, avaient été délibérément créées pour maintenir une substance abrasive en place. Mackay a supposé que les marques concentriques étaient causées soit par de l'émeri, soit par du quartz broyé ; les extrémités des forets étaient circulaires, ayant été meulées à partir d'ébauches de chert en forme de tige. Après une période de forage, le centre de l'extrémité de forage a provoqué la formation d'une fossette dans le trou de forage, qui a été vue dans des perles brisées et achevées d'agate et de cornaline. Cette fossette était le résultat du périmètre de la perceuse éliminant plus de pierre en raison de sa plus grande vitesse de rotation. CH Desch, le directeur du National Physical Laboratory à la fin des années 1930, ont montré qu'en utilisant de l'émeri, de l'eau et un corset d'Archimède, ces forets pouvaient pénétrer 1 mm dans la cornaline en 20 minutes. Chert à bout plat, ou même silex, les forets doivent être utilisés avec un abrasif liquide finement broyé, s'ils doivent effectuer un forage utile; une dépression initiale était nécessaire pour empêcher un foret « d'errer » autour de la surface du cordon. Il n'y a aucune preuve, à l'heure actuelle, que les fabricants de perles égyptiens aient utilisé des forets en chert ou en silex de forme similaire de cette manière. Les essais actuels (tableau 8.1) montrent que les forets à billes en cuivre et en bronze pénètrent plus ou moins à la vitesse atteinte par les expériences de Desch avec les forets en chert Chandhudaro. s'ils doivent effectuer des forages utiles ; une dépression initiale était nécessaire pour empêcher un foret « d'errer » autour de la surface du cordon. Il n'y a aucune preuve, à l'heure actuelle, que les fabricants de perles égyptiens aient utilisé des forets en chert ou en silex de forme similaire de cette manière. Les essais actuels (tableau 8.1) montrent que les forets à billes en cuivre et en bronze pénètrent plus ou moins à la vitesse atteinte par les expériences de Desch avec les forets en chert Chandhudaro. s'ils doivent effectuer des forages utiles ; une dépression initiale était nécessaire pour empêcher un foret « d'errer » autour de la surface du cordon. Il n'y a aucune preuve, à l'heure actuelle, que les fabricants de perles égyptiens aient utilisé des forets en chert ou en silex de forme similaire de cette manière. Les essais actuels (tableau 8.1) montrent que les forets à billes en cuivre et en bronze pénètrent plus ou moins à la vitesse atteinte par les expériences de Desch avec les forets en chert Chandhudaro.

A Hierakonpolis, JE Quibell et FW Green¹² découvrent des outils pointus en silex, qu'ils appellent perceuses à billes. Ils ont été trouvés en association avec

Tableau 8. TRésultats de perforation de l'échantillon

A. Temps de forage, rapports entre le foret en bronze et les taux d'usure de la pierre et les taux de forage

perle Matériel	diamètre de trou (mm)	profondeur de trou (mm)	temps de forage (minutes)	Tige de forage longueur perdue (mm)	rapports bronze: calcul	Coupe les taux (mm ³ /heure)
calcite	2	5.0	30	> 0,05	1 : >100	30
serpentin	2	1.5	15	0,30	1 : 5,0	18
quartz	1	0,5	12	0,20	1 : 2,5	2
améthyste	1	0,5	15	0,20	1 : 2,5	2

B. Taux de perforation indiqués pour la production en série (trois tiges de forage)

perle Matériel	diamètre de trou (mm)	profondeur de trou (mm)	tarif unique (minutes)	taux de production de masse (minutes) une perle produit par :
calcite	2	dix	60	20
serpentin	2	dix	100	33
quartz	1	dix	240	80
améthyste	1	dix	300	100

cornaline grossièrement ébréchée, améthyste et autres types de pierre, dont un ou deux montraient des signes du début de l'opération de forage, bien que Quibell et Green n'étaient pas certains des méthodes employées. À Abydos, un hameau de la fin de Gerze, T. Eric Peet¹³ trouva plus de 300 minuscules microlames en silex. Michel Hoffmann¹⁴ pensaient qu'il s'agissait peut-être de perceuses à billes. Cependant, aucun examen microscopique des modèles d'usure possibles n'a été entrepris et leur véritable utilisation n'a pas été fermement établie.

Après l'introduction du cuivre à l'époque prédynastique, de petits forets à arc ont probablement été fabriqués à partir de ce métal pour la perforation des perles. Les perforations longues et étroites sont beaucoup plus faciles à réaliser avec des forets métalliques et une pâte abrasive. GA Reisner¹⁵ trouva plusieurs perceuses à billes de bronze à Kerma au Soudan. Certains exercices datent d'env. 1970-1935^{avant JC}, mais deux forets munis de manches en bois ont été extraits de tumulus datés par Reisner de la deuxième période intermédiaire (vers 1795-1650^{avant JC}); à cette époque, une culture indigène employant des techniques égyptiennes s'est épanouie à Kerma. Une perceuse particulièrement fine était insérée de force dans un manche en bois cintré, qui s'engageait dans une corde d'arc. Reisner a mesuré la longueur totale de la perceuse, sans la poignée, à 5,4 cm, dont les 1,4 cm supérieurs étaient de 2 mm carrés. Les 4 cm inférieurs étaient de section circulaire, se rétrécissant de la section carrée à un point. Le manche cylindrique mesurait 2 cm de longueur et 8 mm de diamètre, la partie cintrée faisant 5 mm de diamètre. Une réplique de cette perceuse a été fabriquée à partir d'un moulage en bronze contenant 10 % d'étain.¹⁶Après avoir été façonné et poli, il a été inséré de force dans une réplique de manche en bois (Figure 8.1). Un petit arc faisait tourner la perceuse, après qu'un seul tour de corde avait été fait sur la partie cintrée de la poignée (Figures 8.2, 8.3). Une cadence de frappe confortable et

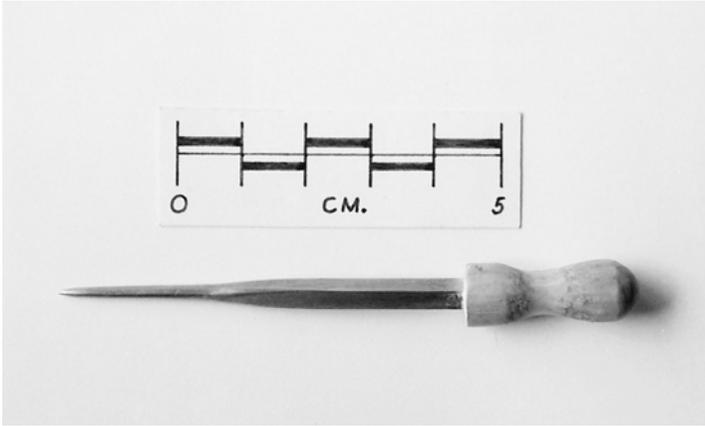


Figure 8.1 Une réplique de perceuse à billes en bronze de type Kerma insérée de force dans un manche en bois cintré



Illustration 8.2 Un petit arc tournant la perceuse à billes réplique

la longueur était respectivement de 200 par minute et de 15 cm. Le diamètre de la taille de la poignée de la réplique, légèrement plus grand à 7 mm, l'a fait tourner à 1 400 tours/minute.¹⁷ La perceuse Kerma, dans des conditions similaires, aurait tourné à 1 900 tours/minute. La réplique du foret a fait un petit trou dans un morceau de calcite (Figure 8.4).

Reisner a remarqué que certaines des perles de pierre étaient percées d'un côté, mais que d'autres étaient percées de deux côtés opposés, les deux perforations se rencontrant au milieu.¹⁸ Dans la pierre opaque, la corde sort normalement à chaque extrémité. Cependant, dans

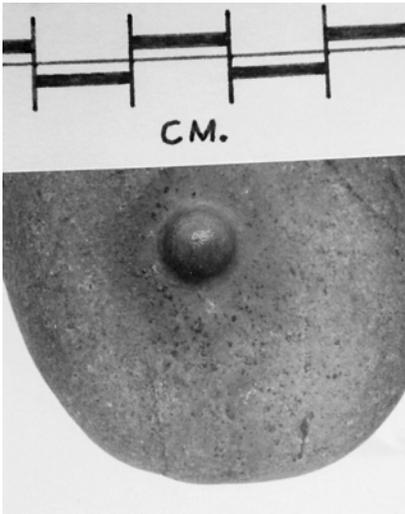


Illustration 8.3 La pierre angulaire pour exercer une pression sur la perceuse à billes rotative

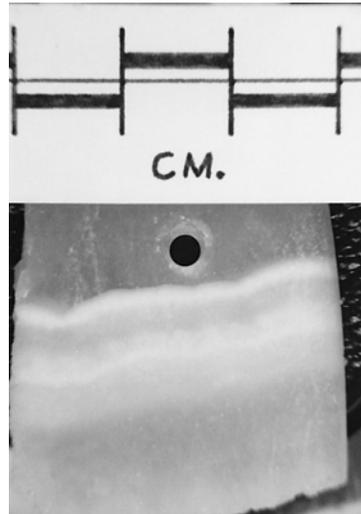


Illustration 8.4 Un trou de 2 mm de diamètre dans la calcite, réalisé avec la perceuse réplique bronze

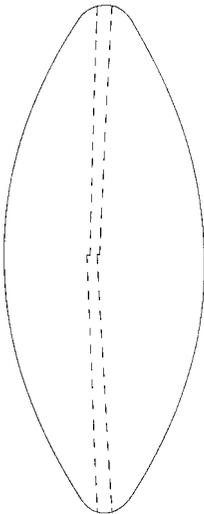


Illustration 8.5 Une coupe transversale d'une longue forme convexe de perle bicône, montrant comment les trous percé à chaque extrémité souvent rencontré à un angle au centre

l'améthyste polie, qui est assez transparente, on peut voir la corde s'écarter brusquement d'une ligne droite, où les deux trous se rejoignent au centre (Figure 8.5).¹⁹

Le forage à partir des deux extrémités d'une longue perle garantissait que la ficelle entraînait ou sortait des surfaces d'une perle aux positions correctes, et permettait à des forets relativement courts de pénétrer avec succès dans de longues perles. Le forage d'un long cordon en une seule opération aurait rarement produit un point de sortie précis pour le trou.

Le forage a été entrepris après le lissage des billes en forme, mais avant l'opération de polissage final. La pointe de forage avait généralement un diamètre de 1 à 2 mm; un trou de perles se rétrécit de sa surface vers le centre, causé par l'oscillation du foret et sa forme effilée. Reisner a supposé que les trous pouvaient être percés avec une perceuse en cuivre ou une tige végétale dure, en utilisant *mouiller* poudre d'émeri.²⁰ Cependant, des tests avec les tubes de roseau et un abrasif de sable humide et finement broyé ont démontré que la tige dure s'est ramollie; de même, une tige végétale mince, utilisée avec un abrasif humide, serait inefficace pour la même raison. Des bijoux de l'Empire du Milieu ont été découverts à Lahun : un exemple particulièrement intéressant est un chapelet de perles de cornaline sphériques (MM 207),²¹ qui venait d'un

dépôt de fondation de Sésostri II. La plus grosse perle mesure 6 mm de diamètre, la plus petite mesure 4,5 mm de diamètre.

Six tombes du Nouvel Empire dans la nécropole thébaine

À Thèbes, en Haute-Égypte, six tombes privées datant des XVIIIe et XIXe dynasties et contenant des illustrations montrant des artisans forant des perles de pierre, indiquent que la perceuse à billes unique, probablement utilisée pendant environ deux millénaires auparavant, a évolué en perceuse à billes multiples. Dans les représentations, chaque foreur perce simultanément au moins deux billes, mais parfois trois, quatre voire cinq billes sont percées en même temps. Ces changements ont nécessité non seulement des modifications fondamentales des exercices, mais également de la manière dont ils étaient utilisés. L'équipement n'a pas survécu jusqu'à nos jours; ce n'est qu'en testant des matériaux de perles utilisés autrefois avec des tiges de forage reconstruites et leur arc moteur que les illustrations de la tombe ont pu prendre vie. De cette façon, l'impact de l'outil de forage sur la production de billes de pierre anciennes a pu être évalué. Mais d'abord, nous devons examiner de près les illustrations de la tombe et en glaner la moindre information.

Les cinq premières tombes ont été construites sur une période d'environ 100 ans (ca. 1475-1375 avant JC), et datent toutes de la XVIIIe dynastie. La sixième tombe, celle du scribe du trésor de la dix-neuvième dynastie du domaine d'Amon, Nefrenpet, a été construite environ 85 ans plus tard que la dernière tombe de la dix-huitième dynastie. Les illustrations des tombes sont présentées dans l'ordre chronologique.

Le tombeau de Puyemre (vers 1475 avant JC, Th 39, règne de Thoutmosis III)²² montre deux foreurs face à face assis sur des tabourets bas (figure 8.6). Ils utilisent tous les deux la même table de perçage. Chaque artisan actionne simultanément deux perceuses. Dans la tombe du vizir Rekmire (ca. 1471-1448 avant JC, Th 100, règnes de Thoutmosis III et d'Amenhotep II)²³ un ouvrier est représenté en train d'utiliser trois exercices en même temps

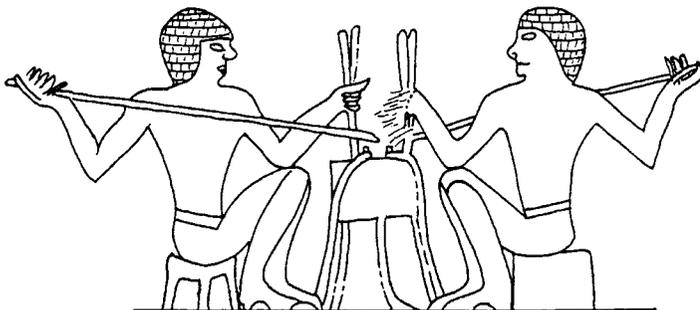


Illustration 8.6 Deux artisans forant chacun deux perles de pierre. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Puyemrê à Thèbes*, New York, 1922, vol. Je, pl. XXIII. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

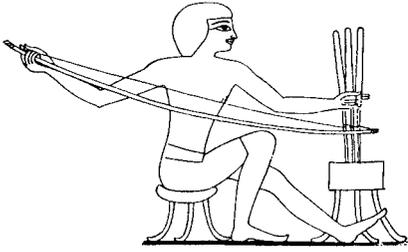


Illustration 8.7 Un seul artisan forant trois perles de pierre. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rê 'à Thèbes*, New York, 1943, vol. II, pl. LIV. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

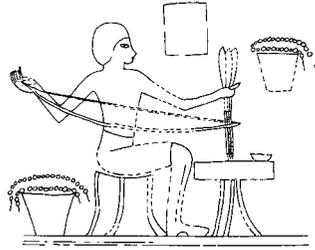


Illustration 8.8 Un seul artisan à la table de forage. Du tombeau d'Amenhotep-si-se à Thèbes. (Avec l'aimable autorisation de l'Egypt Exploration Society)

moment (Figure 8.7) et, de même, un ouvrier dans la tombe d'Amenhotep-si-se (ca. 1415 avant JC, Th 75, règne de Thoutmosis IV)²⁴ exploite également trois foreuses (figure 8.8).

La tombe de Sebekhotep (ca. 1415 avant JC, Th 63, règne de Thoutmosis IV)²⁵ est d'une importance cruciale. Une illustration, retirée de la tombe au XIXe siècle, et aujourd'hui BM 920, montre deux ouvriers, chacun avec quatre perceuses, et un artisan avec trois perceuses. Un fragment d'un quatrième foreur se trouve sur le bord gauche de la scène. Un autre bijoutier polit des perles sur un banc incliné, et un autre encore enfile des perles dans un collier (Figure 8.9). Dans la tombe des deux sculpteurs, Nebamun et Ipuky (ca. 1375 avant JC, Th 181, règnes d'Amenhotep III et IV),²⁶ un seul artisan actionne simultanément trois perceuses (Figure 8.10). La tombe de Neferrenpet (vers 1290 avant JC, Th 178, règne de Ramsès II)²⁷ montre deux ouvriers, l'un faisant tourner cinq perceuses, l'autre faisant tourner quatre perceuses.

Interprétation des illustrations

La longueur de la poutre est estimée à 1,2 m ; c'est considérablement plus long qu'un arc représenté dans la tombe de Rekhmire de la dix-huitième dynastie pour percer des trous dans le bois.²⁸ L'épaisseur de la tige de poutre semble être de 1,5 cm. De plus, la forme en arc de l'arc de perçage multiple diffère de la forme habituelle de l'arc d'un menuisier. Tous les opérateurs sont représentés tenant les extrémités des arcs, les pouces ou les doigts entrelacés avec les cordes de l'arc. La meilleure représentation de la technologie de forage à billes multiples se trouve dans la tombe de Rekhmire. Cependant, les expériences avec les reconstructions indiquent que l'artiste de la tombe a peut-être tiré par erreur la corde de l'arc devant le pouce de l'opérateur, au lieu de derrière. De plus, l'artiste a représenté la main gauche du foreur tenant les trois fûts de bois dans une position impossible. La main doit avoir tous les doigts derrière les arbres et le pouce devant eux.

Tous les opérateurs sont assis sur des tabourets à trois pieds, à l'exception du bras droit de la tombe de Puyemre, qui est assis sur un bloc quelconque.

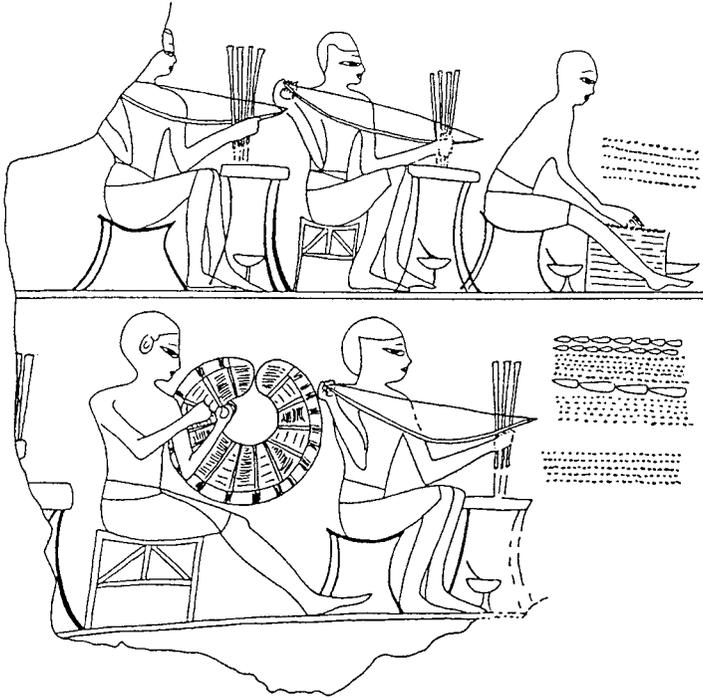


Illustration 8.9 Un atelier de fabrication de perles du Nouvel Empire à Thèbes, en Haute-Égypte. Deux des artisans utilisent chacun quatre tiges de forage. De la tombe de Sebekhotep à Thèbes (BM 920). (Avec l'aimable autorisation du British Museum)

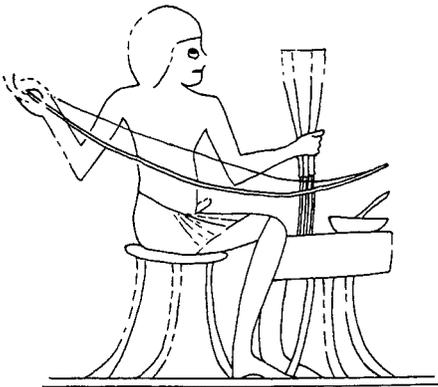


Illustration 8.10 Un ouvrier utilisant trois perceuses simultanément. De la tombe de Nebamun et Ipuky à Thèbes. Dessin de D. Stocks d'après N. de G. Davies, *Le tombeau des deux sculpteurs à Thèbes*, New York, 1925, pl. XI. (Avec l'aimable autorisation du Metropolitan Museum of Art)

Un tabouret de la XVIII^e dynastie de Thèbes (figure 8.11) peut être vu au British Museum (2481) ; le haut de chaque jambe est carré et ajusté de force dans un trou carré de taille similaire dans le siège incurvé. Les tables de forage possèdent également trois pieds, qui ont probablement été encastrés dans les plateaux de la même manière que les pieds de ce tabouret. Les tables et les tabourets à trois pieds sont stables sur des sols inégaux, ce qui s'est avéré essentiel pour les multiples tests de perçage de billes. Les représentations funéraires des dessus de table ne montrent pas comment les perles étaient maintenues en place. Dans certaines illustrations de tombes, le dessus de table a une épaisseur considérable. Il peut s'agir d'une planche de bord, fixée autour de chaque côté. L'intérieur de ces dessus de table peut donc avoir été creux ; cela sera discuté plus tard.

Chaque opérateur actionne l'arc de la main droite – même l'ouvrier à droite de la scène dans la tombe du Puyemre. Le bras droit est toujours tendu, sauf pour l'artisan à droite du tableau dans la tombe de Neferrenpet et les foreurs représentés dans la tombe de Sebekhotep. Les mains gauches des opérateurs tiennent les parties supérieures plus épaisses de l'équipement de forage. Dans tous les cas, à l'exception de la tombe de Sebekhotep, la corde de l'arc est représentée autour des parties inférieures les plus fines de l'équipement de forage. En particulier, la représentation dans la tombe de Rekhmire montre la corde de l'arc enroulée autour de chacune des tiges de forage. Dans l'illustration de Sebekhotep, l'artiste a mal présenté toute la scène. Il semble



Illustration 8.11 Un tabouret à trois pieds de la XVIII^e dynastie provenant de Thèbes (BM 2481).
(© Le British Museum)

exécuté à la hâte et les cordes de l'arc sont montrées passant autour des parties supérieures plus épaisses de l'appareil de forage, ce que les tests ont indiqué comme étant incorrect.

Trois des six peintures, les tombes de Sebekhotep, Nebamun et Ipuky et Neferrenpet, ont des bols, avec un outil en saillie. Amenhotpe-si-se a le bol, mais pas d'instrument. Les bols sont soit affichés sur, au-dessus ou sous les tables de forage. Les bols contenaient probablement le moyen de broyage, une pâte fine et liquide faite, peut-être, des déchets de poudre obtenus lors du forage et du sciage de la pierre avec du sable abrasif ; l'ajout d'eau boueuse a rendu la pâte d'essai parfaite pour percer des perles. (On peut se rappeler que les poudres finement broyées à base de quartz sont cohésives et ne "coulent" pas comme le fait le sable grossier sec.) Les outils montrés à Sebekhotep, Nebamun et Ipuky et Neferrenpet sont susceptibles d'avoir été en forme de cuillère, par déposer de petites quantités de pâte abrasive sur les pointes des forets. Dans la tombe de Sebekhotep,

La tombe de Puyemre représente ce qui est probablement une corde passant au-dessus de la table. Les deux saillies sur la corde peuvent être de gros nœuds. Chaque opérateur a un pied sur une extrémité de la corde, ce qui la maintient tendue. Cette corde semble maintenir la table stable, tandis que les deux foreurs actionnent leurs arcs (Figure 8.12) ; Walter Wreszinski²⁹ suggère également que c'est le but de la corde. Si les deux projections sont effectivement des nœuds, alors ceux-ci exerceraient une pression sur la table, *et tout ce qu'il contient*. La jambe et le pied gauches tendus du foreur de Rekhmirê semblent maintenir le pied de la table vers le bas. L'artisan de la tombe de Nebamun et d'Ipuky pourrait tenir la table fermement entre les genoux. Par conséquent, dans trois tombes distinctes et de trois manières distinctes, les foreurs ont empêché leurs tables de basculer d'avant en arrière en raison du mouvement créé par l'action de forage.

Norman de Garis Davies a commenté la scène de forage multiple dans la tombe de Rekhmire.³⁰ Il a noté que la corde de l'arc s'enroulait tour à tour autour de chacun des trois forets de couleur jaune, qui tournaient dans les tiges rouges plus épaisses. De là, il faut supposer que les tiges de forage étaient en bronze. Ils ont été estimés à 5 mm de diamètre et entre 20 et 30 cm de longueur, et la corde à 2 mm de diamètre, si on la compare au diamètre des tiges de forage en bronze. Les poignées sont toutes étroitement maintenues ensemble par la main gauche du foreur. Chaque tige de forage doit donc tourner dans un trou percé dans l'extrémité inférieure d'une poignée. Les extrémités inférieures des tiges tournent dans les trous percés dans les perles de pierre. Cela signifie que chaque tige de forage tournait rapidement, dans le sens des aiguilles d'une montre et dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, chaque extrémité étant soutenue dans un trou de palier.

Une représentation funéraire du forage avec une perceuse à bois en métal à arc le montre forcé dans un manche en bois; une pierre angulaire séparée sert de palier supérieur.³¹ Le percement multiple simultané des perles affiché dans les tombes thébaines pousse cette technique encore plus loin. Au lieu que la corde de l'arc agisse sur le manche en bois cintré, la corde était maintenant conçue pour agir sur la tige de forage elle-même. Si cette technologie est acceptée, la longueur et la construction de l'arc deviennent alors apparentes. Les poignées sont de longueur similaire, environ 30 à 40 cm, et effilées

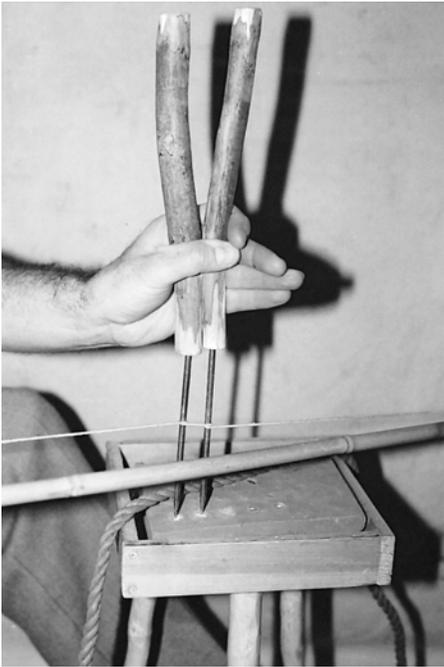


Illustration 8.12 Tenir une table de forage reconstruite stable avec une corde. Après une illustration de la tombe de Puyemre à Thèbes

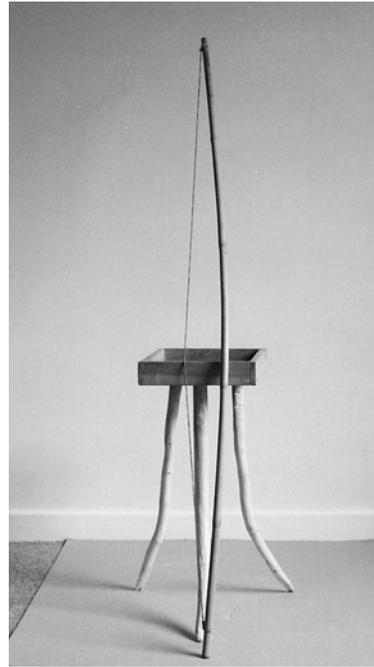


Illustration 8.13 L'arc en forme d'arc reconstruit, ainsi que la table de forage creuse à trois pieds

du haut vers le bas. Leur diamètre moyen semble être d'environ 1,5 cm, aux extrémités inférieures. Les expériences ont montré que ce diamètre permet de saisir jusqu'à cinq poignées en ligne avec une seule main.

Fabrication des outils reconstitués³²

Le manche de l'arc aurait pu être fait d'une branche mince, assaisonnée, en forme d'arc ou d'une canne de roseau commun. Bien que les représentations funéraires de l'arc-arbre ne montrent pas de joints de feuilles,³³ des sarbacanes en roseau sont représentées dans la tombe de Pepionkh à Meir, sans les joints de feuilles.³⁴ Il est possible que les artistes qui ont peint les illustrations à Thèbes montraient des roseaux en forme d'arc.

La hampe d'étrave reconstruite a été fabriquée à partir d'une canne de 1,5 cm de diamètre et de 120 cm de long (Figure 8.13). La canne était pliée en arc de cercle et laissée pliée dans cette position pendant plusieurs heures; bien que la canne se soit un peu détendue après avoir été relâchée, elle a sensiblement conservé sa nouvelle forme. Des essais ont également été réalisés avec une branche en forme d'arc de 1,5 cm de diamètre. Les deux types de tige d'arc possédaient une résistance contrôlée similaire à la flexion, ce qui plaçait une tension raisonnable sur la corde.

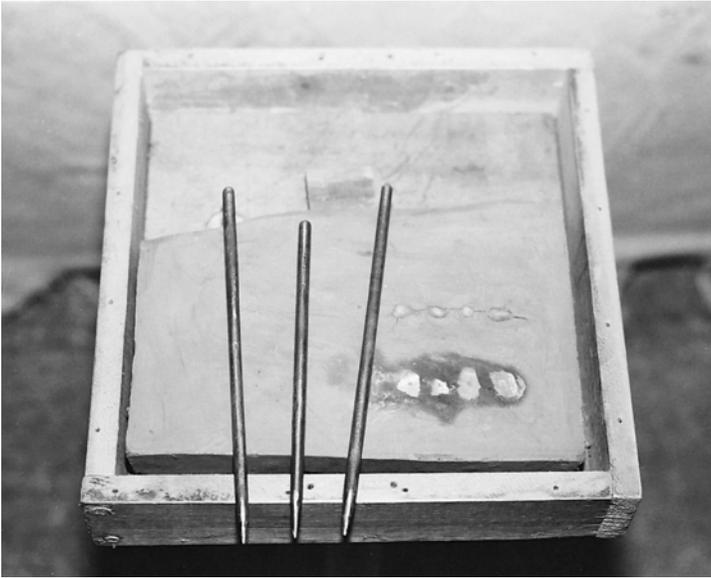


Illustration 8.14 Trois tiges de forage en bronze de type thébaine reconstituées

Les trois tiges de forage en bronze (figure 8.14) ont été coulées dans des moules verticaux ouverts en sable, constitués d'une tige de bois de 5 mm de diamètre. La longueur moyenne était de 15,5 cm. Le bronze fondu se composait de 95 % de cuivre et de 5 % d'étain, en poids. Ces tiges ont été coulées sans difficulté, mais un soufflage occasionnel, une petite bulle de gaz emprisonnée dans la coulée, s'est produit. Ces petits événements n'affectaient pas l'utilisation des tiges. Les extrémités des forages ont été finies en les meulant sur un morceau de grès. Les pointes mesuraient 2 mm de diamètre, légèrement effilées sur une longueur de 3 mm ; cette dimension s'appliquait aux essais de forage sur calcite et serpentine. Plus tard, pour les essais sur les spécimens de quartz et d'améthyste, une pointe a été meulée à un diamètre de 1 mm. Les extrémités supérieures des tiges étaient déjà arrondies, due à la contraction du bronze en un ménisque. Ce contour arrondi a reçu un polissage final, agissant comme un appui parfait dans le trou du manche en bois. Deux tiges d'acier supplémentaires ont été fabriquées, afin de tester simultanément cinq tiges de forage.

Un ensemble de trois poignées (Figure 8.15) et un ensemble de cinq poignées (Figure 8.16) ont été fabriqués à partir de branches d'arbre convenablement assaisonnées. L'une des extrémités supérieures de la tige de forage a été chauffée à une couleur rouge et faite pour graver un trou dans chaque poignée. Les trous ont été brûlés à une profondeur de 10 mm; cette technique garantissait qu'ils étaient légèrement plus grands en diamètre que les tiges de forage, pour le dégagement. L'extrémité arrondie de la tige de forage a créé une surface d'appui de forme similaire dans le trou, et la couche carbonisée a permis aux tiges de forage de tourner librement dans leurs trous de roulement, sans lubrification supplémentaire.



Illustration 8.15 L'ensemble de trois manches en bois reconstitués



Illustration 8.16 L'ensemble de cinq manches en bois reconstitués

Comme mentionné précédemment, les artistes anciens n'ont fourni aucun indice concernant la manière dont les perles étaient fixées aux tables; chaque représentation montre la table de perçage en élévation latérale. Il n'y a aucun signe de perles dépassant du haut des tables : elles auraient pu être similaires à la reconstruction illustrée à la figure 8.13. La table reconstruite est représentée avec un plateau creux, qui aurait pu être rempli de boue (Figure 8.17), similaire à la manière dont les briques de boue étaient fabriquées dans un cadre en bois.

Des expériences avec des perles placées dans de la boue, que l'on a ensuite laissé durcir, ont démontré qu'elles peuvent être commodément placées en ligne et espacées pour correspondre à la distance entre chaque tige de forage (voir Figure 8.17). De plus, n'importe quelle taille ou forme de cordon peut être gérée de cette manière, et peut être placée à n'importe quel angle requis pour chaque perforation. Après le forage, les perles peuvent facilement être extraites de la boue séchée sans être endommagées. De plus, tous les longs cordons peuvent être cassés après le forage à mi-chemin et réinitialisés dans un nouveau bloc de boue pour la seconde moitié de l'opération de forage. L'abrasif de forage humide expérimental n'a pas adouci l'emprise du bloc de boue sur les billes. D'autres méthodes peuvent avoir été utilisées dans l'Antiquité. Par exemple, des perles grandes et petites auraient pu être forcées dans des trous percés dans le dessus de la table en bois. Cependant, comme l'artisan était au courant de la fabrication de briques en terre crue, la technologie aurait pu être adaptée pour le forage à billes multiples. Le bloc de boue expérimental a rétréci en séchant dans le

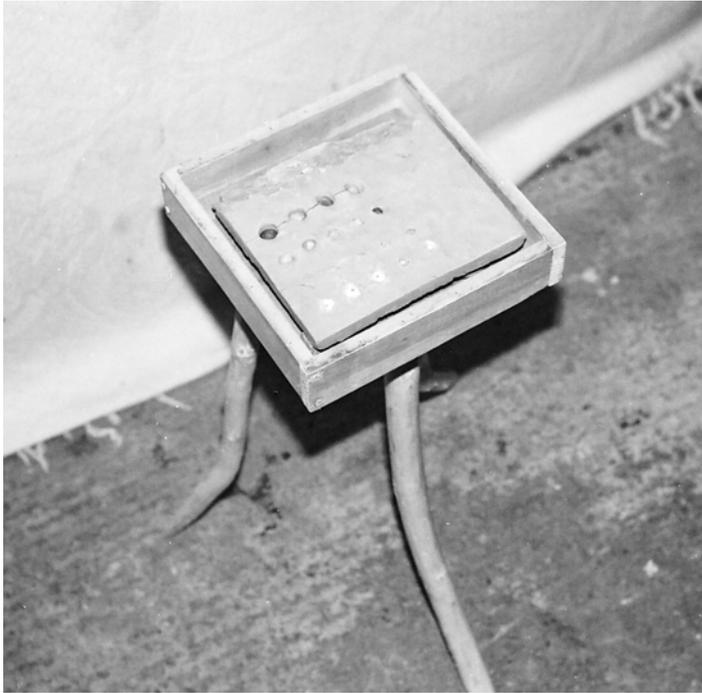


Illustration 8.17. un des blocs de boue d'essai, avec des morceaux de pierre d'essai fermement maintenus à l'intérieur

plateau creux reconstitué de 20 cm de côté, ouvrant un espace de 10 mm de tous les côtés. La corde de Puyemre, avec ses deux nœuds, peut avoir été fabriquée pour sécuriser un tel bloc, en plus de maintenir la table stable.

Perçage expérimental de billes

L'équipement de forage multiple reconstruit, utilisant trois forets simultanément, a suivi la scène dans la tombe de Rekhmirê (Figure 8.18), tandis que le test de cinq forets a suivi l'illustration dans la tombe de Neferrenpet (Figure 8.19). Les taux de forage et les taux d'usure des tiges de forage pour chaque type de pierre testée ont été enregistrés (voir tableau 8.1). Trois morceaux de calcite ont été sculptés en perles sphériques et un outil pointu en silex a été utilisé pour percer une petite dépression dans chacune de leurs surfaces afin de centraliser les pointes des forets. Les perles ont ensuite été placées dans un mélange de boue rigide en une ligne, à environ 1,5 cm d'intervalle. Après séchage, chaque cordon a été fixé de manière inamovible dans le bloc de boue.

Dans les temps anciens, une corde d'arc était solidement fixée à une extrémité de l'arbre d'arc, l'extrémité la plus éloignée de l'opérateur, mais l'autre extrémité de la corde d'arc avait probablement besoin d'une boucle, ou d'un nœud coulant, qui s'est attaché lâchement autour l'arbre d'étrave où la main droite de l'artisan le tenait. Glisser la boucle vers le centre de

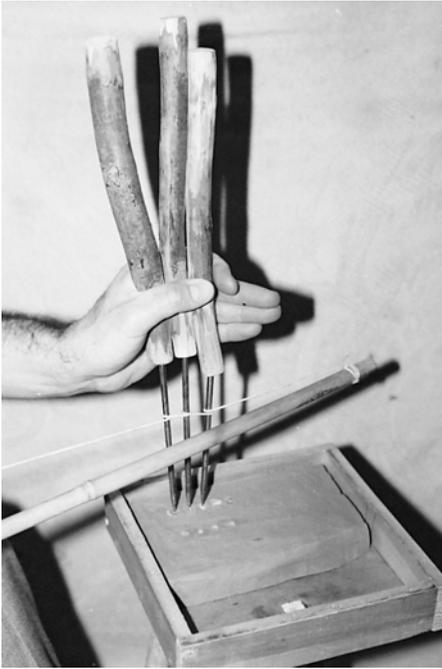


Illustration 8.18 L'ensemble reconstitué de trois tiges de forage en fonctionnement

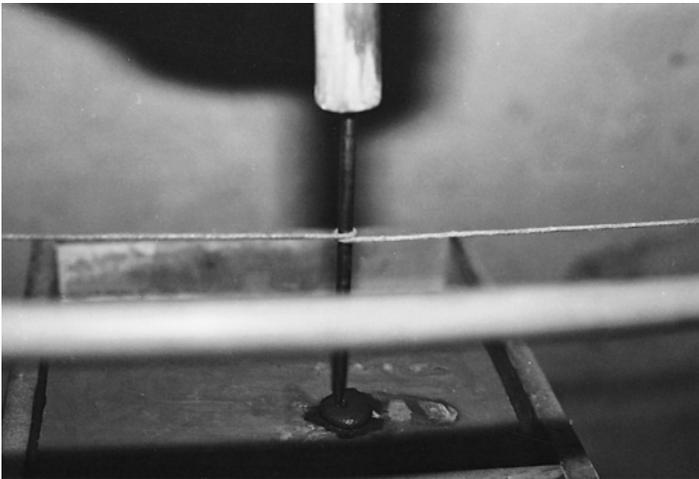


Illustration 8.19 L'ensemble reconstitué de cinq tiges de forage est en cours de rotation

le manche détendait la corde de l'arc. Cette technique de boucle a été adoptée pour les expériences ; avec la corde considérablement desserrée, suffisamment de mou est créé pour permettre un tour autour de chacune des tiges de forage. Les virages sont tous dans le même sens (Figure 8.20). La boucle est maintenant déplacée vers l'extrémité de l'arbre, mettant la tension sur la corde. Toutes les tiges sont engagées dans les dépressions des surfaces des perles et chaque poignée est située sur l'extrémité supérieure d'une tige de forage, la pâte qui coule puis



*Illustration 8.20*Gros plan de la corde d'arc entraînant chaque tige de forage



*Illustration 8.21*Détermination de la vitesse de coupe d'une tige de forage en bronze à l'aide de la pâte abrasive fine



Illustration 8.22 Le pouce placé entre la corde de l'arc et le manche de l'arc, qui ajuste automatiquement la tension de la corde pendant le forage

cuillère sur les pointes des perles (Figure 8.21). La main gauche serre fermement les poignées ensemble, avec le pouce devant et les doigts derrière.

La main droite enserre maintenant l'extrémité de la hampe de l'arc, la corde passant derrière le pouce (figure 8.22). La tension induite en tirant le pouce vers l'arrière assure que chaque tige de forage est saisie par la corde de l'arc. L'examen de la représentation Rekhmire montre l'opérateur avec le bras droit tendu, les tiges de forage à l'extrémité opposée de l'arc. Cette position initiale a été imitée au début de l'expérience.

Les tests ont maintenant déterminé que le bras droit pouvait pousser l'arc vers l'avant jusqu'à ce que la main atteigne la position médiane de la poitrine, c'est-à-dire avec le coude presque complètement plié, sur une distance d'environ 60 cm. Afin de maintenir le déplacement de l'arc en ligne droite, le poignet droit se fléchit progressivement vers l'arrière à l'aller et, inversement, vers l'avant à l'aller. Toutes les tiges de forage tournaient simultanément. À la fin du coup de retour, le bras s'est presque complètement redressé. Les expériences ont déterminé que la tension imposée par la corde sur les tiges de forage est critique. Si la tension était trop grande, les tiges de forage ne tourneraient pas. À l'inverse, si la tension était trop faible, la ficelle glissait autour des tiges de forage sans les faire tourner du tout. Il était tout à fait remarquable que, tandis que la proue allait et venait,

Des calculs basés sur une longueur de course de 60 cm, un diamètre de tige de 5 mm et une fréquence de course de 40 par minute indiquent que chaque tige tourne à 1 500 tours/minute. Ceci, bien sûr, ne tient pas compte de l'accélération et de la décélération extrêmement rapides au début et à la fin de chaque course. Un taux de course de 40 par minute s'est avéré être la fréquence optimale nécessaire pour maintenir des rotations élevées de la tige de forage et également pour maintenir l'action de forage sans

instabilité ou frottement excessif de la corde. Les actions nécessaires à l'entretien du forage ne sont pas trop fatigantes. Le poids que le bras gauche exerce naturellement sur les tiges de forage suffit à les faire tailler la pierre. Il est clair que chaque tige de forage a besoin de sa propre poignée, plutôt que d'une seule grande poignée contenant tous les trous de roulement. Dans ce scénario, toute tige de forage changeant de longueur au cours d'une période, en raison d'une usure excessive par rapport aux autres tiges de forage du même groupe, tournerait dans son trou d'appui, mais aucune pression ne pourrait être exercée sur cette tige. Par conséquent, aucune autre pénétration n'aurait lieu. Avec des poignées indépendantes, cette difficulté est résolue par des changements de posture de temps en temps, ce qui permet à une poignée individuelle de changer sa position verticale par rapport aux autres poignées.

Les ouvriers représentés dans les scènes de la tombe sont représentés en train d'actionner deux bâtons (Puyemre), trois bâtons (Rekhmire, Amenhotpe-si-se, Sebekhotep et Nebamun et Ipuky), quatre bâtons (Sebekhotep et Neferrenpet) et cinq bâtons (Neferrenpet). L'utilisation de cinq tiges de forage en ligne n'est pas impossible. Des tests avec ce nombre de tiges ont démontré que la technique est tout juste faisable. Cependant, il est probable que les artisans les plus qualifiés aient été employés pour conduire cinq perceuses. Il est instructif de noter que les scènes montrent une progression du nombre d'exercices utilisés, qui est liée à leur ordre chronologique ; cela indique une confiance et une compétence accrues dans le forage de plusieurs nombres de perles de pierre par un seul artisan sur une période de près de 200 ans.

Des expériences ont été menées pour déterminer si l'ancien artisan aurait pu utiliser des tiges de plus petit diamètre. Cinq tiges de cuivre de 2 mm de diamètre, chacune martelée à partir d'une bande de cuivre, ont été fabriquées pour le test. Une tige mesurait 26,2 cm de long, deux tiges mesuraient 13,4 cm de long et deux tiges mesuraient 6,8 cm de long. La tige la plus longue s'est pliée lorsqu'on a tenté de la faire pivoter, étant également le sort des tiges de 13,4 cm de long. Les tiges de 6,8 cm de long pouvaient être tournées, mais difficilement. Il est clair que le moment de rotation imposé aux tiges de forage, par un train de tiges de diamètre similaire, est trop important pour que les tiges tournent facilement. Par conséquent, s'il est admis que le diamètre de la corde ancienne utilisée pour les arcs de forage multiples était de 2 mm, alors le diamètre suggéré de 5 mm pour les tiges de forage peut être proche de la vraie dimension ancienne. Le rapport du diamètre de la colonne au diamètre de la tige de forage (2 mm à 5 mm) a donné de bons résultats de rotation, même avec cinq tiges. Il ne fait aucun doute que l'artisan du Nouvel Empire possédait la capacité de couler des tiges de forage de 5 mm de diamètre. Les tiges de forage d'essai ont été utilisées dans un état entièrement recuit; cela permettait mieux aux minuscules fragments de quartz angulaires de l'abrasif de s'incruster dans le métal.

Il était à noter que la pointe de chaque foret d'essai se transformait en une forme émoussée et arrondie (Figure 8.23), causée par l'action oscillante des forets. La pointe du foret et les parois de la perforation étaient striées par les minuscules fragments de quartz – le plus souvent entre 50 et 150 microns de diamètre – dans la pâte abrasive, mais ces stries sont extrêmement fines en apparence. L'examen d'une perle de cornaline de 8 mm de diamètre (Figure 8.24) au Manchester Museum (63153) a révélé des stries similaires. Les outils en silex produisent des marques assez différentes.



Illustration 8.23 Une vue rapprochée de la pointe de forage d'une tige en bronze

Discussion des résultats expérimentaux

Au début de ce chapitre, les perceuses à billes simples ont été étudiées. De toute évidence, les forets en bronze Kerma, certains avec des extrémités supérieures à section carrée, étaient montés en force dans des poignées en bois cintrées. Le roulement supérieur d'un tel foret était généralement une pierre angulaire; l'opérateur a saisi la pierre angulaire, la poignée étant tournée par la corde de l'arc. Les illustrations thébaines montrent que deux étapes inventives importantes

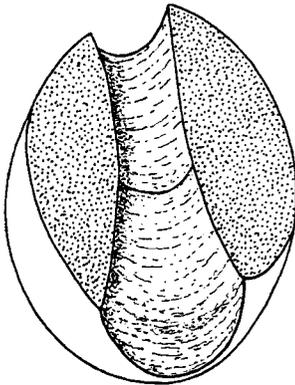


Illustration 8.24 Une section d'une perle de cornaline de 8 mm de diamètre (de MM 63153), révélant de fines stries dans le trou d'enfilage. (Avec l'aimable autorisation du Manchester Museum, l'Université de Manchester)

doit avoir eu lieu avant ou pendant la période du Nouvel Empire. Tout d'abord, la tige de forage en bronze a été allongée et autorisée à tourner dans un manche en bois allongé. Cette innovation technologique signifiait que le roulement de la pierre angulaire d'origine était supprimé et que l'extrémité du roulement était inversée à l'extrémité inférieure de la poignée la plus longue. La poignée était maintenant utilisée comme une véritable poignée, au lieu d'être entraînée avec un arc, et les tiges de forage en bronze étaient directement entraînées avec la corde de l'arc.

Deuxièmement, la technique d'entraînement de plusieurs tiges de forage a été inventée, la technologie de forage multiple simultanée étant possible car plusieurs poignées pouvaient être saisies par une seule main. Le développement de la technologie du forage à billes multiples a entraîné un allongement de l'arc, couplé à une modification de l'approche physiologique de ce type de forage.

Les résultats du tableau 8.1 montrent que des billes sphériques de calcite, de serpentine, de quartz et d'améthyste de 10 mm de diamètre ont pu être forées individuellement en 60, 100, 240 et 300 minutes respectivement.³⁵ Mais l'utilisation simultanée de trois tiges de forage a augmenté le taux de production à trois billes dans une période de temps similaire, soit une bille toutes les 20, 33, 80 et 100 minutes respectivement.³⁶ Dans la tombe de Sebekhotep, l'utilisation de quatre tiges de forage aurait pu produire des billes à raison d'une par 15, 25, 60 et 75 minutes respectivement ; et l'utilisation de cinq tiges de forage aurait pu produire ces billes au rythme d'une par 12, 20, 48 et 60 minutes respectivement.

Les études et les travaux expérimentaux montrent que le forage multiple simultané de billes de pierre était faisable, et la perforation a dû être la partie la plus difficile du processus de production de billes de pierre. Toutes les preuves examinées - archéologiques, picturales et expérimentales - confirment que les anciens artisans ont adapté les techniques antérieures de forage à un seul cordon à la technologie de forage multiple des XVIIIe et XIXe dynasties. L'implication des représentations, en particulier de celle de l'illustration de la tombe de Sebekhotep (voir Figure 8.9), est que les techniques d'usine pour la production en masse de perles de pierre fonctionnaient à l'époque du Nouvel Empire à Thèbes, et cela a dû réduire considérablement le temps, et le coût, pour la fabrication de perles, d'amulettes et de pendentifs.

L'illustration de Sebekhotep est des plus révélatrices. Il montre trois des quatre étapes de fabrication de bijoux impliquant des perles de pierre - celles du perçage, du polissage et du filetage. La première étape, celle de la mise en forme et du lissage du cordon, est manquante. Cependant, il est clair que cette petite usine fabriquait un produit de joaillerie complet, et il est probable que des usines de joaillerie existaient dans d'autres villes ouvrières à cette époque. La disponibilité d'un nombre beaucoup plus grand de perles de pierre, d'amulettes et de pendentifs, à moindre coût, a sûrement dû signifier que plus de gens avaient accès aux produits de joaillerie. Les conséquences des nouvelles méthodes industrielles se font sentir aujourd'hui ; la baisse des coûts de production est transmise vers le bas à de nombreuses parties de la société. Un exemple est la disponibilité de véhicules à moteur à un coût relativement faible,

L'évolution de la technique de forage multiple thébaine est étroitement liée à notre propre capacité de forage de production en série - la conduite de foreuses multiples avec des moteurs électriques sous contrôle informatique. Les artisans thébains doivent être considérés comme les premiers innovateurs connus au monde en matière de méthodes de production de masse, un processus industriel qui n'a fait son apparition dans notre civilisation qu'au début de la révolution industrielle moderne au XVIIIe siècle.

Remarques

- 1 A. Lucas et JR Harris, *Matériaux et industries de l'Égypte ancienne*, Londres : Edward Arnold, 1962, p. 41.
- 2 Idem.
- 3 HC Beck, 'Classification et nomenclature des perles et pendentifs', *Archéologie* 77, 1927, p. 77, svp. II, III.

- 4 WMF Pétrie, *Les arts et métiers de l'Égypte ancienne*, Édimbourg et Londres : TN Foulis, 1909, p. 121, 125.
- 5 Beck, 'Classification et nomenclature des perles et pendentifs', pp. 60-9.
- 6 Idem.
- 7 Pétrie, *L'artisanat*, p. 119 ; GA Reisner, *Fouilles à Kerma*, Cambridge, MA : Peabody Museum of Harvard University, 1923, parties IV-V, pp. 91-2 ; Beck, 'Classification et nomenclature des perles et pendentifs', pp. 69-70.
- 8 Voir BM 920.
- 9 G. Goyon, 'Les instruments de forage sous l'ancien empire Égyptien', *Jahresbericht Ex Oriente Lux* VII, 1967, pl. XXIII.
- dix AJ Gwinnett et L. Gorelick, 'Une réparation ancienne sur une statuette cycladique analysée par microscopie électronique à balayage', *Journal d'archéologie de terrain* 10, 1983, p. 378-84. E. Mackay,
- 11 'La fabrication de perles dans l'ancien Sind', *Journal de la société orientale américaine* 57, 1937, p. 1-7, pl. II, 5, III, 5, 8.
- 12 JE Quibell et FW Green, *Hiérakonpolis II*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1902, p. 11.
- 13 TE Peet, *Les cimetières d'Abydos, partie II, 1911-1912*, Londres : Egypt Exploration Society, 1914, p. 2.
- 14 MA Hoffmann, *L'Égypte avant les pharaons : les fondements préhistoriques de l'Égypte Civilisation*, Londres et Henley : Routledge et Kegan Paul, 1980, p. 154.
- 15 Reisner, *Fouilles à Kerma*, p. 93-4.
- 16 DA Stocks, 'Industrial technology at Kahun and Gurob: experimental manufacture and test of replica and reconstruit tools with specified uses and effects on artefact production', thèse non publiée, University of Manchester, 1988, vol. Je, p. 216, vol. II, p. 351, svp. XX, b, XXI, a.
- 17 Ibid., vol. Je, p. 217.
- 18 Reisner, *Fouilles à Kerma*, p. 93-4.
- 19 Par exemple, G. Brunton, *Lahun I, le trésor*, Londres : British School of Archéologie en Égypte, 1920, pl. I, montrant un collier et un pectoral d'améthyste appartenant à Sésostris II, et contenant 141 perles sphériques.
- 20 Reisner, *Fouilles à Kerma*, p. 93-4.
- 21 WMF Petrie, *Kahun, Gurob et Hawara*, Londres : Kegan Paul, Trench, Trübner, and Co., 1890, p. 22, pl. XIV, 8.
- 22 W. Wreszinski, *Atlas zur altägyptischen Kulturgeschichte*, Leipzig : Hinrichs, 1923, vol. Je, pl. 154 ; N. de G. Davies, *Le tombeau de Puyemrê à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1922, vol. Je, pl. XXIII.
- 23 PE Newberry, *La vie de Rekhmara*, Londres : Archibald Constable, 1900, pls. XVII, XVIII ; Wreszinski, *Atlas*, vol. II, pl. 313 ; N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rtm à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LIV.
- 24 Wreszinski, *Atlas*, vol. II, pl. 242 ; N. de G. Davies, *Les tombes de deux fonctionnaires de Thoutmosis IV à Thèbes*, Londres : Egypt Exploration Society, 1923, vol. II, pl. X.
- 25 BM 920. La peinture a été retirée du mur de la tombe 63 à Thèbes en 1869.
- 26 Wreszinski, *Atlas*, vol. II, pl. 360 ; N. de G. Davies, *Le tombeau des deux sculpteurs à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1925, pl. XI.
- 27 Wreszinski, *Atlas*, vol. Je, pl. 73, a, b.
- 28 Davies, *Rekhmirê*, vol. II, svp. LII, LIII.
- 29 Wreszinski, *Atlas*, vol. Je, pl. 154. Davis,
- 30 *Rekhmirê*, vol. Je, p. 49. Ibid., vol. II, svp.
- 31 LII, LIII.
- 32 DA Stocks, 'Production de perles dans l'Égypte ancienne', *Archéologie populaire* 7 (5), 1986, p. 2-7 ; Stocks, 'Technologie industrielle', vol. I, p. 230-4 ; Actions DA, 'Ancien

- techniques de production de masse en usine : indications de la fabrication à grande échelle de perles de pierre pendant la période du Nouvel Empire égyptien », *Antiquité* 63, 1989, p. 526–31. Comparez
- 33 Davies, *Rehmirê*, vol. II, pl. LIV (arbre d'étrave d'un foreur de perles) avec vol. II, pl. LIII (sarbacane de bijoutier).
 - 34 AM Blackman et M. Apted, *Les tombeaux rupestres de Meir*, Londres : Egypt Exploration Society, partie V, 1953, pl. XVII.
 - 35 Stocks, « Anciennes techniques de production de masse en usine : indications de la fabrication de perles de pierre à grande échelle pendant la période du Nouvel Empire égyptien », p. 530.
 - 36 Idem.

9

SOUS-PRODUITS D'UN ÂGE PASSÉ

Matériaux dérivés modernes

Le succès technologique de la société moderne dépend de l'interaction entre les différentes parties de l'industrie. Par exemple, une industrie peut produire un déchet particulier, conséquence de son processus de fabrication, qui peut être utilisé dans un type d'industrie totalement différent. Un exemple de cette pratique est la fabrication de panneaux de particules à partir de poussière de bois, un sous-produit des scieries, qui est mélangé à de l'adhésif et compressé pour en faire un matériau alternatif bon marché au bois. Un autre sous-produit est la cendre fine produite par la combustion du charbon dans les centrales électriques. Ce matériau est transformé en blocs de construction et est également utilisé pour la construction d'autoroutes.

Une énigme de l'artisanat égyptien antique est l'origine des matériaux utilisés pour les noyaux de faïence et les émaux. Les anciens ouvriers égyptiens utilisaient des forets tubulaires en cuivre, avec du sable abrasif, pour creuser des artefacts en pierre; les poudres de déchets, riches en quartz, contenaient également du cuivre provenant des forages. Les anciens artisans utilisaient-ils ces poudres pour fabriquer des noyaux de faïence, des émaux bleus et verts et, peut-être, des frittes et des pigments bleus ? Pour explorer cette possibilité, les caractéristiques de la faïence ancienne sont comparées à la microstructure et à la composition de céramiques fabriquées expérimentalement.

Faïence ancienne : une brève description

La faïence était utilisée pour fabriquer des amulettes, des perles, des scarabées, des incrustations de bijoux, des statuettes, des figurines ouchebti, des récipients et des tuiles. Deux exemples particulièrement beaux de statuettes en faïence se trouvent au Metropolitan Museum of Art de New York : un hippopotame émaillé bleu de la XIIe dynastie (MMA 17.9.1), provenant de la tombe de Senbi à Meir, est décoré de fleurs de lotus ouvertes et fermées, et une représentation émaillée de la XVIIIe dynastie d'Amenhotep III (MMA 1972.125), d'un bleu plus profond que l'hippopotame, a la forme d'un sphinx. A Berlin se trouve un bol en faïence bleue de 9 cm de diamètre de la XVIIIe dynastie (Musée égyptien, Berlin 4562), qui est décoré de trois poissons représentés à 120° l'un de l'autre. Un triangle équilatéral, au centre du bol, sert de tête aux trois poissons. Ces superbes

les exemples représentent l'art combiné avec l'éclat technique. La production de faïence a été importante pendant toute l'histoire égyptienne, la plupart des glaçures étant bleues ou vertes. Cependant, plus rarement, des types violets, blancs, jaunes, noirs et rouges ont été trouvés.⁴

Le premier matériau vitré égyptien antique, trouvé par Guy Brunton et Gertrude Caton-Thompson dans les dépôts funéraires datés de la culture badarienne de la Haute-Égypte, se composait de perles de stéatite sculptées et percées recouvertes d'une glaçure transparente et brillante. Il apparaît clair en coupe transversale, mais en regardant directement la surface, l'effet optique est de translucidité.⁶ Les émaux contenant de la malachite (un minerai de cuivre) produisaient la couleur bleu verdâtre, qui imitait le lapis-lazuli et la turquoise plus rares.⁷

Environ 4000 avant J.C., les noyaux en pierre ont été remplacés par des noyaux en céramique,⁸ fabriqué principalement à partir de sable finement divisé (moulu), mais parfois de sable relativement plus grossier, qui a été modelé en formes; ces poudres peuvent avoir été obtenues à partir du forage de récipients en pierre avec des foreurs de pierre tenus à la main en utilisant du sable grossier comme abrasif. Les noyaux contiennent également de petites quantités de chaux et soit de natron - un mélange alcalin naturel de sels de sodium, de carbonate, de bicarbonate, de chlorure et de sulfate - soit de cendres végétales. Souvent très friables, elles sont fréquemment de couleur blanche, ou pratiquement blanche, mais peuvent être teintées de brun, de gris, de jaune, parfois très légèrement bleues ou vertes.⁹ Dans le noyau, de minuscules particules angulaires de quartz sont liées ensemble par des quantités variables de verre interstitiel et recouvertes d'une glaçure à base d'alcali, généralement colorée en bleu par le cuivre.^{dix}

Un résumé de Pamela Vandiver¹¹ d'une gamme composite d'analyses chimiques du matériau de base à partir d'une étude de centaines d'objets en faïence contenus dans l'Ashmolean Museum, Oxford et le Museum of Fine Arts, Boston, Massachusetts, montre 92 à 99 % de SiO (dioxyde de silicium),² 1 -5 % CaO (oxyde de calcium [chaux]), 0,5-3 % Na O (oxyde de sodium), avec de petites quantités de Cu O (oxyde de cuivre), Al O (oxyde d'aluminium), Ti₂O₃ (dioxyde de titane), Mg O (oxyde de magnésium) et KO (oxyde de potassium).²

La plupart des autorités acceptent des températures de cuisson au four pour la faïence de 800 à 1 000 ° C.¹² Un nombre important de noyaux de faïence égyptienne antique¹³ montrent que de nombreuses tailles de particules ont un diamètre inférieur à 50 microns ; même lorsque le quartz à grains plus grossiers (100 à 200 microns de diamètre) prédomine, des quantités importantes de quartz à grains fins, de moins de 50 microns de diamètre, sont toujours présentes.¹⁴ Noyaux dynastiques, moulés ou modelés, à partir d'une pâte dure,¹⁵ ont été vitrés par efflorescence¹⁶ (la cuisson d'un noyau contenant un composant de vitrage, qui remonte partiellement à la surface lors du séchage et fusionne pour devenir l'émail), ou par cémentation¹⁷ (cuisson d'un noyau sec enfoui dans une poudre de glaçage), ou par application directe d'un coulis de glaçage sur la surface d'un noyau sec avant cuisson.¹⁸

Plusieurs milliers de moules de poterie pour les perles de faïence, les pendentifs, les scarabées et les shawabti ont été trouvés à Tell el-Amarna, Memphis, Thèbes, Gurob, Qantir, Naukratis, Tell el-Yahudiyeh et d'autres endroits, par Flinders Petrie et d'autres.¹⁹ Petrie a trouvé des restes de pâte siliceuse encore adhérents aux moules.²⁰ Les moules étaient ouverts,²¹ il en fallait donc des séparés pour l'avant et l'arrière d'un objet,

qui ont été assemblés avec une pâte humide avant l'émaillage. Après séchage naturel à l'air, les noyaux pouvaient être détaillés en les gravant avec des pointes de silex.²²Certains noyaux ont été fabriqués avec un fil de cuivre épais intégré à l'intérieur, cuit et le fil retiré pour laisser un trou de cordage. Un fil de cuivre de 8,1 cm de long utilisé à cette fin, CM JE64523, a été trouvé par Mahmud Hamza à Qantir.

La glaçure est constituée d'un mélange silico-sodo-calcique,²³généralement 60 à 70 % de silice, 16 à 20 % de soude et 3 à 5 % de chaux.²⁴La teneur en oxyde de cuivre est variable. Par exemple, Alfred Lucas²⁵l'analyse de la glaçure d'un carreau de la dix-neuvième dynastie a montré 1,1 % de CuO ; analyses par Vandiver et WD Kingery²⁶des émaux de faïence allant de la période prédynastique à la période du Nouvel Empire ont trouvé la plus faible teneur en CuO à 1,5 % (une moyenne de 5 pièces) et la plus élevée à 18,1 % (une moyenne de 4 pièces). Les analyses des glaçures de deux anneaux de faïence du Nouvel Empire (spécimens 16319 et 16321 du British Museum Research Laboratory) par MS Tite montrent que la teneur en CuO est de 9,7 % et 9,5 % respectivement.

Faïencerie expérimentale

Dans les essais de forage de Manchester avec tube de cuivre et sable abrasif, le produit en poudre contenait en moyenne, en poids pour le granit, 97,70 % de sable, 1,10 % de pierre et 1,20 % de cuivre ; pour le calcaire dur, 94,46 %, 4,93 % et 0,61 % ; pour la calcite 94,10 %, 5,43 % et 0,46 %. Les quantités habituelles de sable consommées pour broyer 1 cm³

de granit, de calcaire dur et de calcite étaient respectivement de 200–250, 50 et 45 g, et les temps de meulage de 1 cm³de ces pierres étaient respectivement de 40, 5 et 2 minutes. Le temps d'Assouan pour meuler 1 cm³du granit rose, avec une équipe de forage de trois ouvriers, était de 11 minutes, avec une équipe de sciage de deux ouvriers, de 5 minutes. (Voir les tableaux 4.2, 4.3, 4.6, 4.7.)

Si une quantité quelconque de sable est broyée jusqu'à ce qu'une poudre à peu près homogène soit produite, la plupart des particules ont un diamètre de 50 à 150 microns, certaines d'environ 200 microns de diamètre; une courte période de broyage supplémentaire réduit rapidement la plupart des tailles de particules à 50–80 microns. On pouvait distinguer, en écoutant les bruits de broyage et en remarquant la sensation de l'action de forage, si la poudre était broyée à ces fines dimensions.

Après quelques expériences infructueuses, une pâte dure, constituée d'un mélange de 99 % de la poudre issue du forage du calcaire dur (figure 9.1), ou de 99 % de la poudre dérivée de la calcite, et de 1 % de NaHCO (bicarbonate de sodium), a produit un noyau pratiquement blanc et friable (figure 9.2).²⁷Après séchage, chaque noyau a été cuit à une température de 850°C, et laissé refroidir sans temps de trempage ; il y avait les moindres taches de bleu dans le matériau de base. L'utilisation d'un microscope électronique à balayage pour analyser le noyau (figure 9.3) fabriqué à partir de la poudre dérivée de calcaire dur (tableau 9.1) l'a trouvé similaire à la faïence ancienne dans la microstructure, en particulier dans l'angularité du quartz et la taille des particules. La composition en vrac est similaire, avec une quantité légèrement inférieure de silice et une quantité supérieure de chaux.²⁸



Illustration 9.1 La poudre de déchets blanchâtres obtenue à partir du forage de calcaire dur avec un tube de cuivre et du sable



Illustration 9.2 Un noyau d'essai, fabriqué à partir de poudre dérivée de calcaire dur

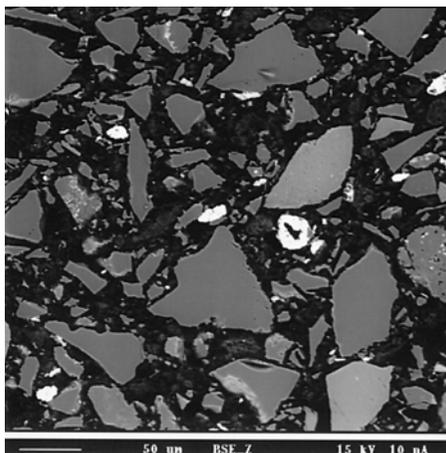


Illustration 9.3 Micrographie électronique à balayage d'un noyau, fabriqué à partir de la poudre dérivée de calcaire dur. Barre d'échelle = 50 microns. (Avec l'aimable autorisation de MS Tite et du Laboratoire de recherche pour l'archéologie et l'histoire de l'art, Université d'Oxford)

Une glaçure liquide expérimentale, composée à 75 % de poudre dérivée du granit et à 25 % de NaHCO (voir tableau 9.3), a été directement appliquée sur un noyau non cuit. Cette glaçure était fabriquée à partir d'une poudre de forage, contenant du cuivre, produite plusieurs années auparavant et comprenant des particules de quartz jusqu'à 200 microns de diamètre. Lorsque l'échantillon a été cuit à 950 ° C, sans temps de trempage, une glaçure vitreuse bleu foncé a été créée (Figure 9.4).²⁹ Une nouvelle période de broyage courte aurait rapidement réduit le quartz et le cuivre en particules plus petites, améliorant l'apparence de la glaçure par une dispersion et une dissolution plus uniformes du cuivre.

Discussion

La faïencerie expérimentale indique que les poudres issues du forage du calcaire dur et de la calcite sont idéales pour la fabrication de noyaux, et que les poudres issues de la pierre dure (plus de particules de cuivre) conviennent aux glaçures bleues. Les poudres sont broyées de manière satisfaisante aux tailles de particules et à l'angularité observées dans les noyaux de faïence anciens, et la composition du noyau expérimental est similaire à la faïence ancienne.

La fritte se distingue de la faïence en ce qu'elle est entièrement colorée et n'est pas recouverte d'une glaçure. Les frites peuvent contenir ou non un pigment pour la couleur; ils sont suffisamment chauffés pour fondre, mais pas assez pour couler comme un verre. Le bleu égyptien est la fritte la plus courante de cette couleur; c'est un matériau polycristallin fritté. Étant donné que la faïence et la fritte bleue égyptienne sont fabriquées essentiellement à partir des mêmes matières premières,³⁰ il se pourrait que les frites aient été fabriquées à partir des déchets de poudres de forage contenant plus de chaux, c'est-à-dire du sable et de la pierre forée. Une augmentation

Tableau 9.1 Analyses du noyau expérimental et de la glaçure

	Composition calculée (%)		Analyses globales moyennes (%)	
	cœur	glaçage	cœur	glaçage
SiO ₂	93,56	73,80	90,25	74,55
Al ₂ O ₃		0,11	0,01	0,05
NaO	0,37	9,23	3,47	0,08
Cu	0,59	0,90	FeO	0,00
CaO	2,72		MnO	0,00
			MgO	0,20
			CaO	4,35
			NaO	0,95
			KO	0,52
			Borde commande	0,00
			ALORS	0,01
			CuO	0,24
				0,54

Analyses de la composition calculée et de la composition en vrac du noyau et de l'émail en faïence expérimentale. Ils étaient fabriqués à partir de poudres issues du forage de calcaire dur et de granit avec un tube de cuivre et du sable abrasif. La poudre de calcaire dur contenait 94,50 % de SiO (quartz), 4,90 %₃ de CaCO (calcaire) et 0,60 % de Cu (cuivre). La poudre de granit contenait 97,70 % de SiO₂ (quartz), 1,10% granit et 1,20 % Cu. (Analyse de la glaçure par Chris Doherty ; analyses du noyau et de la glaçure avec l'aimable autorisation de MS Tite et du Laboratoire de recherche pour l'archéologie et l'histoire de l'art, Université d'Oxford.)



Illustration 9.4 Un échantillon de glaçure, fabriqué à partir de la poudre dérivée du granit

la teneur en cuivre donnerait une poudre de fritte appropriée ; les différences dans les détails de la microstructure, de la minéralogie, de la texture, de la dureté et de la couleur de la fritte dépendraient des quantités² relatives de SiO, CaO, CuO et d'alcali, de la granulométrie de la poudre et de la température (entre 900 et 1000°C) et la durée du temps de tir (jusqu'à 24 heures).³¹ Si la teneur en CuO dépasse la teneur en CaO, alors des cristaux de bleu égyptien, c'est-à-dire de tétrasilicate de calcium-cuivre (CaO.CuO.4SiO), se forment et la fritte présente une couleur bleue intense.³² Inversement, si la teneur en CaO dépasse la teneur en CuO, l'oxyde de cuivre reste dissous dans la phase vitreuse pour produire une couleur bleu pâle.³³

États MS Tite³⁴ qu'un bleu égyptien clair à texture fine a été créé en broyant le produit à texture grossière d'une première cuisson en une poudre fine qui, après humidification et remodelage, a été cuite une seconde fois à une température un peu plus basse (850-950° C). De petits objets à texture fine de bleu égyptien ont été fabriqués à l'aide de ce cycle de cuisson en deux étapes. De plus, le matériau à texture grossière aurait été broyé pour être utilisé comme pigment bleu, une gamme de bleus allant du foncé au clair étant obtenue par broyage à une granulométrie de plus en plus fine.³⁵

Après env. 3600^{avant JC}, les artisans n'avaient pas besoin de produire des poudres spécialement conçues pour la faïence, ni pour les frites bleues et les pigments, car les poudres nécessaires étaient disponibles comme sous-produit du forage de la pierre avec des tubes de cuivre et du sable abrasif. La possibilité de modéliser des poudres à base de quartz dans des noyaux après env. 4000^{avant JC} a probablement initié un changement par rapport à ceux en stéatite sculptée, et les glaçures bleues et vertes, fabriquées à partir de poudres de forage contaminées au cuivre, ont peut-être supplanté les méthodes antérieures de coloration avec de la malachite. L'expansion de la fabrication de récipients en pierre au cours de la période Nagada II a peut-être stimulé une augmentation proportionnelle de la production de faïence: bien qu'il y ait eu un déclin de la fabrication de récipients en pierre dure au début de la période dynastique, la fabrication de récipients en calcite s'est poursuivie sans relâche. La construction de sarcophages en pierre dure à partir de la quatrième dynastie et d'autres artefacts en pierre dure creusés avec des tubes de forage en cuivre et coupés avec des scies à l'aide de sable abrasif, ont continué à rendre les poudres fortement contaminées par des particules de cuivre disponibles pour les émaux de faïence bleue et verte.

Si en effet les poudres de déchets de pierres de forage étaient à la base de la faïence ancienne, alors la teneur minéralogique variable observée dans ces céramiques peut être attribuée aux différences entre les pierres forées et le sable abrasif, notamment en ce qui concerne la teneur en chaux. De plus, le contenu métallurgique des cuivres et des bronzes utilisés pour fabriquer les forets et les scies tubulaires, qu'ils proviennent de minerais nouvellement fondus ou du métal obtenu à partir de la fusion et de la coulée d'outils usés, serait différent pour chaque tube et chaque scie. Il existe des preuves indiquant un lien direct entre les industries métallurgiques et du vitrage. J.Riederer³⁶ analyses d'artefacts en bronze de la période tardive dans trois régions d'Égypte - inférieure, centrale et supérieure - ont permis à Alexander Kaczmarczyk et REM Hedges³⁷ de comparer la concentration moyenne d'étain dans les bronzes avec la concentration d'étain dans les artefacts en faïence trouvés dans chaque région. Les résultats ont clairement montré que la teneur en étain des faïences bleues et vertes reflétait la composition des bronzes contemporains provenant de la même région géographique.

Cette découverte étaye une proposition selon laquelle la raison de cette correspondance est que les poudres de déchets, contenant des particules de bronze usées par les forets et scies tubulaires de taille de pierre en bronze utilisés avec un abrasif au sable de quartz, ont été utilisées pour fabriquer des objets en faïence dans la même zone géographique. Il est donc possible qu'une corrélation similaire ait existé tout au long de l'ère dynastique et des périodes précédentes de Nagada II et Nagada III / Dynastie 0.

Bien qu'à l'heure actuelle l'utilisation ancienne de ces poudres ne puisse *directement* être prouvé, les expériences indiquent qu'ils doivent être considérés comme un matériau employé pour certaines faïences anciennes. Si l'on suppose que les poudres de déchets de pierre dure ont constitué la base des émaux, il se peut que parfois le faïencier ait ajouté du cuivre supplémentaire à la poudre, ou moins de sable ait été utilisé pour le forage, augmentant le pourcentage de cuivre. Enfin, une question doit être posée. Pourquoi les artisans continueraient-ils à produire séparément les poudres pour faïence alors que des poudres similaires étaient déjà créées par des pratiques industrielles répandues dont les origines remontent à la période prédynastique ?

D'autres preuves pourraient être apportées. Si les archéologues de terrain peuvent identifier les déchets pulvérulents issus du forage et du sciage de la pierre et, par des analyses, les associer à la production de faïence, de fritte bleue ou de pigment bleu au même endroit, une réponse vraiment positive peut encore être donnée à cette question. Un endroit prometteur où ces corrélations pourraient être faites est Tell el-Amarna, où les processus de production communs à la fabrication de la poterie, de la faïence, des frites, du verre et des pigments³⁸ est produit sur ce site de la XVIII^e dynastie.

Remarques

- 1 WMF Petrie, *Outils et Armes*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1917, pp. 45–6 ; A. Lucas et JR Harris, *Matériaux et industries de l'Égypte ancienne*, Londres : Edward Arnold, 1962, p. 74 ; GA Reisner, *Mycerinus, les temples de la troisième pyramide de Gizeh*, Cambridge, MA : Harvard University Press, 1931, p. 180.
- 2 DA Stocks, 'Indications de l'interdépendance industrielle de l'Égypte ancienne : déclaration préliminaire', *Le bulletin archéologique de Manchester*⁴, 1989, p. 21–6.
- 3 B. Fay, *Musée égyptien de Berlin*, Berlin-Charlottenburg : Ägyptisches Museum, 1984, pp. 22–3.
- 4 Lucas et Harris, *EMI*, p. 160–4.
- 5 G. Brunton et G. Caton-Thompson, *Civilisation badarienne et prédynastique Vestiges près de Badari*, Londres: British School of Archaeology in Egypt, 1928, pp. 27–8, 41.
- 6 PB Vandiver et WD Kingery, « La faïence égyptienne : la première céramique high-tech », dans WD Kingery (éd.) *Céramique et civilisation*³, Westerville, OH : American Ceramic Society, 1986, p. 20, fig. 1, 3.
- 7 Idem.
- 8 JFS Stone et LC Thomas, 'L'utilisation et la distribution de la faïence dans l'Orient ancien et l'Europe préhistorique', *Actes de la Société préhistorique*²², 1956, p. 37ff.
- 9 Lucas et Harris, *EMI*, p. 157 ; A. Kaczmarczyk et REM Hedges, *Ancien Faïence égyptienne*, Warminster : Aris et Phillips, 1983, p. 123 ; Vandiver et Kingery, « La faïence égyptienne : la première céramique de haute technologie », p. 20.
- dix MS Tite, 'Bleu égyptien, faïence et matériaux connexes : enquêtes technologiques', dans RE Jones et HW Catling (eds) *Sciences en archéologie*², Londres : Britannique

- École d'Athènes, 1986, p. 39; MS Tite, 'Caractérisation des premiers matériaux vitreux', *Archéométrie*29, 1987, p. 23-4.
- 11 PB Vandiver, « Le changement technologique dans la faïence égyptienne », dans JS Olin et AD Franklin (dir.) *Céramique Archéologique*, Washington, D.C. : Smithsonian Institution Press, 1982, p. 167.
- 12 PB Vandiver, 'Annexe A : la fabrication de la faïence', dans Kaczmarczyk et Hedges, *Faïence*, p. A10-11, A26ff.
- 13 MS Tite et M. Bimson, 'Faïence : une enquête sur les microstructures associées aux différentes méthodes de vitrage', *Archéométrie*28, 1986, p. 69. Idem.
- 14
- 15 WMF Petrie, *Les arts et métiers de l'Égypte ancienne*, Edimbourg et Londres : TN Foulis, 1909, p. 115-16, 118-19.
- 16 CF Binns, 'Une expérience de glaçure bleue égyptienne', *Journal de l'American Ceramic Society*15, 1932, p. 71-2 ; JV Noble, 'La technique de la faïence égyptienne', *Journal américain d'archéologie*73, 1969, p. 435-9.
- 17 C. Kiefer et A. Allibert, « Les céramiques bleues pharaoniques et leur procédé révolutionnaire d'émail', *Industrie Céramique*, mai 1968, p. 395-402. Pétrie,
- 18 *L'artisanat*, p. 107-19 ; HC Beck, 'Notes sur les pierres vernissées', *L'Égypte ancienne et l'Orient*, juin 1934, p. 19-37 ; Lucas et Harris, *EMI*, p. 172-4 ; PT Nicholson et EJ Peltenburg, 'Egyptian Faïence', dans PT Nicholson et I. Shaw (eds) *Matériaux et technologie de l'Égypte ancienne*, Cambridge : Cambridge University Press, 2000.
- 19 Par exemple, WMF Petrie a apporté près de cinq mille moules de Tell el-Amarna, après avoir rejeté de grandes quantités des plus courantes (WMF Petrie, *Tell el-Amarna*, Londres : Methuen, 1894, p. 30).
- 20 Pétrie, *L'artisanat*, p. 118-19. Lucas
- 21 et Harris, *EMI*, p. 159. Pétrie,
- 22 *L'artisanat*, p. 115-16.
- 23 Vandiver, « Changement technologique dans la faïence égyptienne », p.
- 24 167. MS Tite, communication personnelle.
- 25 Lucas et Harris, *EMI*, p. 475.
- 26 Vandiver et Kingery, « La faïence égyptienne : la première céramique de haute technologie », p. 29, tableau II.
- 27 DA Stocks, 'Dérivation de l'âme de la faïence égyptienne antique et des matériaux de glaçure', *Antiquité*71, 1997, p. 180.
- 28 MS Tite, communication personnelle ; Stocks, 'Dérivation de la faïence égyptienne antique matériaux de base et de glaçure », fig. 1.
- 29 Stocks, « Dérivation des noyaux et des glaçures en faïence de l'Égypte ancienne », p. 181, figue. 2.
- 30 Tite, « Caractérisation des premiers matériaux vitreux », p. 30.
- 31 Idem, p. 27.
- 32 Idem.
- 33 Ibid., p. 33.
- 34 Tite, 'Bleu égyptien, faïence et matériaux apparentés : investigations technologiques', p. 41. Idem.
- 35
- 36 J. Riederer, 'Analyse des métaux des bronzes égyptiens', *RAS*, 1981, p.
- 37 239-43. Kaczmarczyk et Haies, *Faïence*, p. 274-5. Lucas et Harris, *EMI*, p.
- 38 340-4.

dix

TECHNIQUE ANCIENNE INTERRELATIONS

Outils et processus interconnectés

L'artisan égyptien prédynastique a hérité d'une longue tradition de fabrication d'outils en pierre. Les outils en pierre, en particulier ceux en silex, avaient évolué vers différentes formes et tailles, qui reflétaient leur utilisation. Des outils en pierre prédynastiques, tels que des bifaces, des foreurs, des pointes de projectiles, des couteaux, des grattoirs latéraux et latéraux, des burins et des faucilles dentelées, ont été utilisés pour travailler sur la chair, les peaux, le bois, les plantes et la pierre avant l'introduction d'outils en cuivre coulé, ca. 3600 avant J.C.

Il est probable que certains de ces modèles d'outils en pierre aient été reproduits en cuivre au début de la période Nagada II. Quatre outils importants en pierre, le grattoir en silex, la faucille denticulée en silex, le couteau en silex et la hachette en pierre ont probablement été transformés en cinq outils en cuivre, à savoir, le ciseau, l'herminette, la scie, le couteau et la hache : le cuivre a permis d'améliorer les performances et la durée de vie, et certaines utilisations différentes pour des formes d'outils similaires. Le ciseau en cuivre était enfoncé dans des matériaux plus tendres avec un maillet ou un marteau en pierre, une utilisation peut-être donnée aux outils en silex dans certaines circonstances, mais la fine lame d'herminette en cuivre, semblable à la forme d'un ciseau, était emmanchée et balancée contre le bois et le calcaire tendre. L'amenant à retirer de minces copeaux de ces matériaux.

Deux outils en pierre, la hache à main et le couteau en silex, ont conservé leurs formes, fonctions et noms de base après avoir été coulés et battus en cuivre, bien que la tête de hache en cuivre, utilisée par les charpentiers et les constructeurs de bateaux dynastiques, ait été équipée d'un manche en bois. pour augmenter la force d'un coup. La lame de scie en cuivre pouvait être battue finement, puis dentelée, ce qui permettait d'économiser du temps et des efforts de sciage, une amélioration par rapport aux outils en silex denticulés plus épais, initialement utilisés pour scier les tiges de plantes ligneuses, telles que les roseaux.

En plus d'être utilisés pour enfoncer des ciseaux, des marteaux en pierre sphériques et hémisphériques étaient également utilisés pour battre le cuivre et le bronze en forme, ainsi que des artefacts en pierre; la plupart des marteaux en pierre étaient directement maniés à la main. L'artisan doit avoir possédé de nombreuses tailles et poids différents de marteaux en pierre, et la fourniture et l'installation de manches en bois sur un si grand nombre d'entre eux n'aurait pas été une proposition réalisable. Certains marteaux, pioches et haches en pierre étaient équipés de deux bâtons tordus autour d'une section de taille, mais ceux-ci étaient utilisés pour extraire et façonner grossièrement la pierre.

La fonte et la coulée du cuivre ont permis à l'artisan de modifier considérablement les méthodes de fabrication. Les compétences requises pour façonner un nodule de silex en un outil utilisable sont considérables. Cependant, en fabriquant des moules ouverts en sable, puis des moules en poterie ouverts réutilisables, il était relativement simple d'y verser du cuivre fondu et de faire plusieurs copies de la même forme d'outil; il s'agit d'une méthode de fabrication de masse moderne. Des moules étaient également utilisés pour couler le verre et pour fabriquer des noyaux de faïence à partir d'une pâte siliceuse. Battaie une coulée de cuivre dans sa configuration durcie finale et l'affûter sur un morceau de grès ne prenait pas autant de temps ou d'expertise que la fabrication d'outils en silex. Mais en période de pénurie de métal, l'artisan pouvait se tourner vers des outils en pierre, comme l'herminette en pierre,

Il est clair que les artisans ont été profondément influencés par leur environnement. Bien que les anciens Égyptiens utilisaient des matériaux naturels à de nombreuses fins domestiques, ils ont également adapté l'architecture de la nature pour la conception d'outils, ainsi que pour des parties de bâtiments en pierre. L'importance du roseau commun en tant que forme de conception originale pour deux outils cruciaux ne peut être surestimée. La sarbacane à roseau et le foret tubulaire à roseau, et sa copie en cuivre, puis en bronze, ont fondamentalement changé l'orientation de la technologie égyptienne antique. Sans la sarbacane, qui a évolué pour devenir le soufflet actionné au pied du Nouvel Empire, la fusion de quantités importantes de cuivre à partir de son minerai et la fusion ultérieure de suffisamment de cuivre pour la coulée dans des outils utiles et d'autres artefacts,

La possibilité de couler des feuilles de cuivre suffisamment grandes pour fabriquer des scies et des tubes de taille de pierre, et des scies à bois dentelées, a permis aux artisans de scier les pierres dures en blocs pour la construction et pour les sarcophages, de creuser des récipients et des sarcophages à partir des pierres les plus dures et de couper de longues planches. à partir de troncs d'arbres. Pour faciliter cette dernière opération, un scieur utilisait une tige de garrot en bois à contrepoids pour serrer ou détendre rapidement une corde fixant une poutre verticale de bois à un poteau enfoncé dans le sol. La modification d'une branche d'arbre fourchue a fourni la conception de l'arbre central et de la poignée du foret hélicoïdal / inversé, et sa conversion en un outil d'alésage par le cordage d'un arbre fourchu inversé pour maintenir et tordre les foreurs de pierre à l'intérieur d'un récipient en pierre. Des branches fourchues, en plus des branches déjà naturellement recourbées,

L'artisan a utilisé des substances naturelles pour établir des procédés de fabrication. En particulier, le sable sec était utilisé comme abrasif en conjonction avec des scies et des tubes en cuivre. Sans ces deux outils, les artisans égyptiens antiques auraient en effet été mal équipés pour certaines tâches, notamment pour le travail des pierres dures. Les poudres de déchets (sous-produits) finement broyées, contenant du sable, de la pierre et du cuivre, étaient probablement utilisées comme abrasif fin pour polir la pierre, pour percer les perles de pierre, pour fabriquer les noyaux de faïence et le bleu

et émaux verts et, éventuellement, pour créer les frites et pigments bleus. Les taux de pertes de cuivre des scies et des tubes dans le sable abrasif pour une pierre particulière auraient été connus des artisans et de leurs superviseurs.

Il est difficile de croire que les fabricants de faïence se seraient donné la peine de fabriquer spécialement des poudres de particules de sable et de cuivre finement broyées pour les noyaux et les émaux de faïence, alors que d'énormes quantités de poudres de déchets similaires provenant du sciage et du forage des pierres étaient disponibles. En effet, l'introduction et l'expansion des noyaux de faïence modelés et moulés à la fin de la période prédynastique, concomitantes à l'expansion de la fabrication de récipients en pierre tendre et dure après ca. 3600^{avant JC}, soutient l'idée que les noyaux et les émaux de faïence étaient fabriqués à partir des déchets de poudre obtenus lors du perçage des pierres avec des tubes de cuivre. Par conséquent, le besoin de tubes de cuivre pour creuser des récipients en pierre prédynastique, en particulier ceux fabriqués à partir de pierres plus dures, a permis à une découverte précédemment accidentelle de la façon de glaçer des objets en stéatite sculptés avec de la malachite d'être étendue à une entreprise industrielle plus vaste. Même si un déclin de la fabrication de récipients en pierre dure a eu lieu au début de la période dynastique, l'introduction de sarcophages en pierre ignée sous la quatrième dynastie a continué à générer des poudres adaptées à la fabrication d'émaux de faïence.

Les expériences avec le cuivre, le bronze au plomb et les ciseaux de bronze ont démontré que la calcite marque une ligne de démarcation entre les pierres « tendres » et « dures ». La coupe de calcaire tendre, de grès rouge, de gypse, de stéatite (tous de dureté Mohs 3 ou inférieure) et de tous les types de bois est à la portée des ciseaux en cuivre et en bronze et des scies dentelées en cuivre et en bronze. La calcite et les pierres plus dures que Mohs 3 sont mieux travaillées avec des ciseaux et des poinçons en silex et en chert. La perte de cuivre, et même de bronze, des ciseaux est trop importante pour être tolérée pour couper la calcite. Il est probable que des outils en silex et en chert aient été développés pour le travail des pierres dures et tendres, et les expériences ont indiqué que les outils pour travailler les pierres les plus dures étaient des outils jetables ou « jetables ». Cependant, la découpe expérimentale de hiéroglyphes dans du granit rose à grain grossier suggère que seuls des ciseaux et des poinçons en silex peuvent travailler cette pierre particulière : la dureté du chert tombe de manière critique en dessous de celle du silex à cette fin. Les expériences avec le ciseau et le poinçon en acier suggèrent que les outils en fer de l'Égypte tardive et les outils en fer et en acier romains étaient capables de couper des pierres plus dures que les outils en cuivre ou en bronze, mais que les pierres ignées ont causé des dommages considérables aux bords de tous les métaux ferreux. outils.

La calcite marque également une ligne de partage en matière de forage. Un récipient en gypse peut être percé avec des croissants de silex, mais la calcite et les pierres plus dures que cela ne le peuvent pas. La calcite et les pierres à grain fin jusqu'à et y compris la dureté Mohs 5 peuvent être percées avec des tubes de roseau et un abrasif de sable sec. Les tubes de cuivre et les foreurs de pierre, fonctionnant également avec du sable sec plutôt qu'humide, étaient essentiels pour forer et forer les vaisseaux de pierre plus durs.

L'arc était un important dispositif de transmission de puissance. Il entraînait cinq types d'outils différents, de l'exercice d'incendie aux perceuses à billes produites en série des XVIIIe et XIXe dynasties. L'un des outils, le foret, pouvait être équipé de différents forets à son extrémité opérationnelle et était donc un exemple précoce d'un système d'outils interchangeables. Le premier système d'outils interchangeables, le Twist/Reverse Twist Drill (TRTD), avec sa tige centrale et ses poids associés, a probablement été transmis dans une famille, ou un groupe, d'artisans. L'arbre fourchu lashedon, pour entraîner les foreurs de pierre, devait être remplacé occasionnellement, tout comme un tube de cuivre monté sur l'arbre central. Il est clair que le TRTD était un outil vital, une pierre angulaire de la production de richesse de l'Égypte ancienne.

avant JCLa Mésopotamie suggère que l'artisan des vaisseaux de pierre y utilisait également une forme de TRTD.

Les expériences de forage de perles de pierre ont démontré la faisabilité de la production en masse de perforations dans des perles de pierre dure et d'autres artefacts en pierre. Les preuves archéologiques et expérimentales suggèrent que des étapes inventives se sont produites entre la deuxième période intermédiaire et la dix-huitième dynastie, convertissant le foret à perle unique en un outil de production de masse. La perceuse à plusieurs perles simultanée a permis au perlier d'augmenter le taux de fabrication des perles de pierre et, par conséquent, le coût des bijoux a sûrement diminué et rendu les produits de joaillerie plus accessibles à un plus grand nombre de personnes. Cette technologie de forage multiple, les ouvriers montrés assis en rangées organisées dans une petite usine du Nouvel Empire située à Thèbes, en Haute-Égypte, a précédé les systèmes de forage de production de masse modernes de près de 3 500 ans.

Les longueurs de trois tiges de bois trouvées par Petrie à Kahun, pour tester la planéité des surfaces en pierre, se sont avérées égales en longueur à moins de 0,005 cm. Il a été démontré, en utilisant une réplique d'ensemble de tiges et de ficelles, que l'ancien artisan était capable de fabriquer des ensembles de trois tiges parfaitement assortis, ou même l'ensemble de quatre tiges vu dans la tombe de Rekhmirê ; les anciens ouvriers étaient donc capables de ciseler, de marteler et de meuler des surfaces de pierre avec une précision de 0,25 mm sur un carré de 1,25 m. Sans ces tiges, ainsi que le cadre en "A" et le cadre d'essai vertical, la construction de temples, de pyramides et de murs aurait été extrêmement difficile. De plus, un ensemble de tiges et de cordes peut avoir été utilisé comme pied à coulisse intérieur, testant avec précision le parallélisme de surface de deux blocs de pierre adjacents avant de les installer dans un bâtiment.

Problèmes de santé signalés des artisans

Le travail expérimental de la pierre avec des scies en cuivre, des tubes de forage et des outils en silex et en chert indique une grave pollution de l'environnement de travail immédiat dans les anciens sites de construction et de fabrication d'artefacts. Le sciage et le forage des pierres ont dû produire de grandes quantités de déchets de poudres de sable/pierre/cuivre, une grande partie de la poussière micrométrique associée étant emportée par le vent. Les expériences actuelles avec les scies à cuivre et les perceuses tubulaires en usage avec sec

sable abrasif sur pierre montrent que les scieurs et foreurs ont dû inhaler des quantités considérables de cette poussière composée en grande partie de silice et de particules de pierre ; ce travail a dû éventuellement causer aux travailleurs une grave silicose, abrégant leur vie. D'autres travailleurs ont probablement été affectés par l'inhalation de la poussière soufflée par le vent sur les sites de fabrication.

Le cuivre ou le bronze usé, les scies et les tubes, en plus d'autres outils métalliques, tels que les ciseaux, les herminettes, les haches et les forets à bois, étaient renvoyés à la fonderie pour être fondus avec du nouveau cuivre pour couler des outils de remplacement. Sur les grands chantiers de construction et dans les ateliers continuellement utilisés pour fabriquer des objets en pierre et en métal, il a dû être établi une fonderie composée de nombreux fours regroupés. Les grandes scies en cuivre ou en bronze, les tubes de forage et autres artefacts nécessitaient le coulage coordonné de plusieurs nombres de creusets de métal en fusion pour remplir les moules. La fonderie aurait logiquement été implantée sous le vent, c'est-à-dire au sud d'un site de fabrication. Néanmoins, d'importants volumes de fumées et d'émanations provenant des fours et des moules auraient affecté la santé des travailleurs. Aujourd'hui, la coulée de métal est toujours un métier dangereux, même avec les réglementations modernes en matière de santé et de sécurité ; les anciens fondeurs risquaient également de graves brûlures en cas de déversement accidentel de métal en fusion. On ne sait pas à quel point l'ancien fourneau souffrait d'hyperventilation en soufflant de l'air à travers des tuyaux de roseau, mais certaines personnes ont une prédisposition à cette condition débilitante de vertiges et, dans les cas extrêmes, de paralysie.

Le façonnage d'objets en pierre dure et tendre et la taille de reliefs et de hiéroglyphes, avec des ciseaux, des poinçons et des grattoirs en silex et en chert, risquaient de blesser les yeux et la peau des ouvriers en pierre à cause des fragments de silex et de pierre. Les ouvriers des carrières ont également subi des risques considérables pour leur santé. Par exemple, les ouvriers employés pour marteler le granit entourant l'obélisque inachevé d'Assouan ont non seulement risqué des blessures aux yeux et à la peau, mais ont respiré une poussière de granit étouffante dans leurs zones de travail confinées. Être « envoyé dans le granit » était en effet une punition sévère. L'utilisation de pilons à main et de marteaux en pierre pour le travail de la pierre, et le battage du cuivre et du bronze coulés dans la tôle et dans les outils, ont probablement causé des microtraumatismes répétés à la main, au poignet et à l'avant-bras d'un travailleur sur une période de plusieurs années. . Grands chantiers,

Résumé final

Toutes les preuves techniques décrites indiquent l'établissement d'une société industrielle innovante, complexe, sophistiquée et interdépendante qui s'est suffisamment développée à l'époque prédynastique pour fournir un nombre important d'artefacts de valeur, en particulier des récipients en pierre, à usage domestique et au commerce extérieur. Le sciage et le forage expérimentaux de la pierre indiquent que de grandes quantités de minerai de cuivre ont été extraites et traitées *juste* pour remplacer les milliers de tonnes de cuivre usés par les scies et les perceuses tubulaires au fil des millénaires, en particulier

pour fabriquer les sarcophages en pierre dure, et que des quantités prodigieuses de déchets de poudres de sable/pierre/cuivre ont été créés. Cela implique qu'une organisation a été développée pour administrer et mettre en œuvre les procédures industrielles essentielles suivantes : l'extraction et la fusion des minerais de cuivre ; la coulée et le transport des lingots de cuivre vers les centres de travail ; la coulée et le battage du cuivre en scies, tubes et de nombreux autres outils ; le sciage et le perçage d'artefacts ; l'approvisionnement probable en déchets de poudres des polisseurs de pierre, des perliers et des fabricants de faïence bleue, de fritte et de pigments.

Plusieurs étapes techniques inventives importantes ont progressivement augmenté la production d'artefacts, les rendant accessibles à des groupes de personnes plus larges ; cela a lentement modifié la structure de la société égyptienne. Les avancées les plus notables sont la transformation d'outils spécifiques en silex en cuivre ; la conversion du tube de roseau en sarbacane et en tube de forage, plus tard copié en cuivre et entraîné avec l'arc et le Twist/Reverse Twist Drill ; scies à pierre ; moules de poterie réutilisables ; le porte-outil interchangeable ; tiges d'essai de surface fabriquées avec précision ; outils en silex jetables ; le levier de garrot à contrepoids ; l'adaptation de branches d'arbres pour fabriquer des arcs, des supports de travail du bois en forme de Y, des enclumes tripodes et des arbres principaux TRTD, ainsi que leurs arbres fourchus associés pour l'entraînement des foreurs de pierre ; l'appareil de forage à billes multiples du Nouvel Empire ;

La formation et le développement progressifs de processus industriels interdépendants employaient un nombre toujours croissant d'administrateurs, de personnel technique et de commis pour contrôler les ouvriers et leurs outils, et consommaient d'énormes quantités de matériaux. Cela implique des capacités organisationnelles vigoureuses pour répondre à chaque nouvelle demande technique. Les expéditions dans les carrières et les mines connues ont également été complétées par l'exploration pour localiser et sécuriser de nouvelles ressources. En particulier, la collecte et le transport des nodules de sable et de silex du désert sont devenus vitaux pour les processus de fabrication de sciage, de forage, de forage et de taille de pierre pendant toute la civilisation égyptienne antique.

Il est clair que les dirigeants de l'Égypte ancienne, et de plus en plus leurs subordonnés, ont progressivement commandé des artefacts plus compliqués et plus élégants, *partiellement* parce que les artisans pourraient modifier la technologie existante pour les fabriquer. Cela a à son tour créé une richesse croissante, qui a contribué aux changements sociaux et organisationnels tout au long des périodes prédynastique et dynastique.

GLOSSAIRE DE TERMES TECHNIQUES

angularité

De nombreux cristaux de quartz ont des formes angulaires, ce qui les amène à s'intégrer dans des perceuses et des scies à métaux fonctionnant sous une charge. Voir également **durcissement au marteau**.

recuit

Le processus par lequel les outils en alliage de cuivre sont ramollis après que le métal a durci au marteau. Le métal est porté à une chaleur rouge et on le laisse refroidir lentement jusqu'à ce qu'il soit complètement froid. Il est maintenant malléable et le martelage peut continuer.

arc en forme d'arc

La forme des arcs que l'on voit dans les représentations funéraires des XVIII^e et XIX^e dynasties représentant de multiples perlage de perles. Voir également **arc de menuisier**.

hache (pierre)

Voir **malmenier**.

roseaux ressemblant à du bambou

Deux de ces roseaux étaient endémiques à l'Égypte ancienne : *Phragmites communis* et *Arundo donax*.

extrémité aveugle d'une strie

Phénomène survenant lorsqu'un cristal de quartz s'est usé après avoir

surface de la pierre, laissant une extrémité aveugle à la strie.

ennuyeux

La rotation d'un foreur de pierre contre la surface d'une pierre, soit à la main, soit comme pièce jointe au **Foret hélicoïdal/ inversé**. Un foreur de grès ne nécessitait pas d'abrasif: d'autres foreurs de pierre utilisaient un abrasif de sable.

fracture fragile

Un martelage excessif des alliages de cuivre et de bronze provoque la rupture soudaine de ces métaux en raison de modifications complexes de leur structure interne.

calcite

Voir **Albâtre égyptien**.

pierre angulaire

Un poids de roulement en pierre, avec un trou hémisphérique pour s'engager avec le haut d'un arbre en bois entraîné par un arc.

fonderie

Coulée de métal en fusion d'un creuset dans un moule.

courbe caténaire

La courbure naturelle donnée par la gravité à une corde ou une corde horizontale sous un

certaine tension. Voir également **tiges et ficelle**.

ciselure

Coups soudains et contrôlés d'un ciseau dans le bois ou la pierre pour enlever de petits morceaux de matériau.

usure circonférentielle

L'érosion du maillet en bois d'un façon autour de sa circonférence en le frappant sur des ciseaux métalliques, et éventuellement en pierre.

cire perdue ou **cire perdue** Deux méthodes de coulée similaires, qui impliquent la fusion de noyaux de cire pour laisser un espace pour le métal en fusion. 1. En faisant un noyau solide de cire et en le recouvrant ensuite d'argile épaisse. La perte de la cire et la coulée subséquente du métal dans le moule font un objet solide. 2. En fabriquant un noyau solide d'argile, en le recouvrant de cire, puis en ajoutant une autre couche d'argile par-dessus. La perte de la cire, puis le remplissage de l'espace avec du métal en fusion, font un objet creux lorsque le noyau d'argile interne est retiré.

moule fermé

Moule en deux parties qui, une fois assemblées, forme un espace de forme fermée pour la coulée du métal en fusion.

martelage à froid

Le façonnage forcé, avec un marteau en pierre, d'alliages de cuivre froids en feuilles minces et en ciseaux, herminettes, haches et autres outils et artefacts.

foreur de pierre conique

Un outil entraîné par un arbre fourchu attaché à un **Foret hélicoïdal/inversé**. La fourche s'engage dans deux fentes taillées à l'opposé l'une de l'autre dans le dessus plat du foret.

outil en silex en forme de croissant Cet outil se présente généralement sous trois formes de croissant distinctes : quart, moitié et trois quarts.

ciseau à coupe transversale

Un ciseau dont le tranchant est perpendiculaire à sa largeur maximale. Voir également **flau ciseau**.

taux de coupe

Le volume observé de pierre ou de bois retiré dans un laps de temps donné.

rapports de coupe

Le rapport observé entre le métal utilisé d'un outil et la quantité de pierre ou de bois enlevée par cet outil.

densité

Pierre : le granit et les autres pierres ignées pèsent 2,7 g/cm³; le grès dur et le calcaire sont de 2,6 g/cm³; la calcite est de 2,5 g/cm³; le calcaire tendre et le gypse sont de 2,4 g/cm³. Métal : le cuivre est de 8,94 g/cm³.

forage

La pénétration dans le bois avec un foret en cuivre, en bronze ou en fer, et dans la pierre avec un foret à billes en cuivre ou en bronze ou des tubes de roseau, de cuivre ou de bronze.

excentricité du tube de forage

La paroi intérieure d'une perceuse tubulaire étant décalée par rapport à sa paroi extérieure. Une

noyau décentré dans un moule tubulaire peut avoir causé cela dans les temps anciens. La rotation d'un tel foret dépasse un trou dans la pierre.

sable de quartz sec

L'utilisation de sable de quartz comme abrasif s'est avérée plus efficace à l'état complètement sec. Cela garantit un échange en douceur des cristaux usés avec de nouveaux. L'élimination de la poudre de sable usée est possible à partir de trous profonds percés dans des objets très lourds à l'état complètement sec.

Albâtre égyptien

Habituellement, l'albâtre signifie sulfate de calcium (gypse, Mohs 2), mais le matériau utilisé dans l'Égypte ancienne pour de nombreux types d'artefacts était la calcite (carbonate de calcium). La calcite égyptienne est un carbonate de calcium compact blanc ou jaunâtre/blanc (dureté Mohs 3-4). Il est considérablement plus dur que le gypse, qui ressemble en apparence à la calcite.

fabriqué

Tout outil en métal qui n'est pas directement moulé en forme.

noyau de faïence

Un matériau céramique composé de sable de quartz broyé, qui est maintenu ensemble par des quantités variables de verre interstitiel. Il contient de petites quantités de chaux et de cuivre, ainsi que du natron ou des cendres végétales. Il est généralement cuit à une température de 850°C.

glaçure de faïence

Une glaçure en céramique dure fabriquée à partir de matériaux similaires au corps en faïence,

mais possédant de plus grandes quantités d'alcali (environ 20 pour cent) et de cuivre, et cuit à environ 950° C.

foreur de pierre en forme de huit Un foreur possédant deux étranglements opposés avec lesquels engager un arbre fourchu pour le faire tourner. Ce type de perceuse était utilisé pour élargir l'intérieur des récipients en pierre.

premier niveau, deuxième niveau, etc. Une méthode proposée pour enlever la pierre intérieure d'un sarcophage par étapes. Chaque niveau représente une profondeur théorique maximale, étayée par des preuves provenant du sarcophage de Khufu, que l'on pense possible de forer dans la pierre avec des forets tubulaires dans n'importe quelle opération de forage. Tous les noyaux et les colonnes de la pierre adjacente doivent être retirés avant de percer le prochain niveau de trous.

burin plat

Un ciseau ayant son tranchant le long de sa dimension de largeur maximale. Voir également **burin à coupe transversale**.

scie à plat

Une scie en cuivre, en bronze ou en fer, avec un bord plat pour presser sur un abrasif sec au sable de quartz. Voir également **scie dentelée**.

perceuse tubulaire à bout plat

Un foret tubulaire en cuivre ou en bronze, avec une face d'extrémité plate pour presser sur un abrasif de sable de quartz sec.

arbre fourchu

Un puits pour l'enfoncement des foreurs de pierres : il était ancré sur une conduite principale **Foret hélicoïdal/inversé**-arbre.

fonderie

Un endroit où un groupe de fours peut fonctionner simultanément, permettant la fusion de suffisamment de métal pour couler de gros objets.

fritte

Un matériau céramique fabriqué à partir de sable broyé qui, contrairement à la faïence, est entièrement coloré et n'a pas de couche de glaçure. La fritte contient moins de 5 % d'alcali et plus de 10 % d'oxydes de cuivre et de calcium.

affûtage

L'abrasion de la surface d'un matériau avec de petits cristaux de quartz, soit contenus dans du sable, soit incrustés dans la matrice d'une pierre.

gypse

Une pierre tendre (Mohs 2), semblable en apparence à la calcite. Voir également **Albâtre égyptien**.

mouvement giratoire du tube de forage

Le phénomène observé des mouvements de forage tubulaire et de tige de forage provoqués par l'action de va-et-vient d'un arc, l'axe principal de rotation étant le long de la ligne du mouvement de l'arc. L'extrémité supérieure d'un tube ou d'une tige de forage tourne, qui agit autour du point sur l'arbre du tube de forage et la tige de forage où une corde d'arc ou une corde d'arc les fait tourner. Cela se traduit par l'arrondissement de la face d'extrémité d'un foret tubulaire et de la fente de forme tubulaire au niveau de la face de forage. De même, une tige de forage solide est arrondie à sa pointe, ainsi que la pierre au fond du trou de forage.

durcissement au marteau

Le processus par lequel des alliages de cuivre relativement mous sont progressivement durcis en les martelant à froid. Pour obtenir l'arête la plus dure possible sur un outil de coupe, le martelage final doit avoir lieu après que les processus préliminaires alternés de martelage et de recuit ont façonné l'outil. Voir également **recuit**.

poignée 1

La partie supérieure inclinée et effilée d'un **Foret hélicoïdal/inversé** - arbre.

poignée 2

L'arbre en bois dans lequel tourne simultanément un foret à billes multiples.

marques de dureté

Afin de déterminer la dureté d'un échantillon de métal, une charge connue pendant un temps connu est placée sur un diamant de forme pyramidale inversée (essai de dureté Vickers) ou une bille durcie (essai de dureté Brinell). Des mesures minutieuses des marques de dureté constituent la base d'une échelle numérique de dureté pour les métaux.

allongement du trou

La poussée et la traction d'un arc-arbre entraînant un foret tubulaire provoque l'allongement de la fente tubulaire qui est taillée dans des pierres plus tendres. Des cristaux de sable piégés entre la paroi extérieure du tube et la paroi du trou tubulaire provoquent cet allongement.

foreurs de pierre en forme de crochet

1. Un outil théorique en silex à main spécialement taillé pour le grattage

une contre-dépouille dans l'épaulement interne d'un récipient en pierre. 2. Un foreur de pierre à main théorique, également à des fins de coupe. Cet outil fonctionne en conjonction avec un abrasif à sable sec, sauf s'il est fabriqué à partir de grès.

dans une ligne

Le positionnement simultané de chaque perceuse à billes multiples sur une ligne et séparés par une distance approximativement égale.

étrier intérieur

Un appareil pour mesurer la distance entre deux objets proches - pas nécessairement en unités de mesure.

trait de scie

La coupe ou la fente qu'une scie produit dans un matériau. Cette fente est plus large que l'épaisseur de la lame de scie, de sorte que la lame au-dessus des dents ne se coince pas lorsque la coupe s'approfondit. Il est généralement réalisé dans les scies modernes en pliant les dents alternées vers la gauche et vers la droite, mais dans une scie ancienne, les dents étaient coupées dans la lame, provoquant le renflement du métal sur le côté, créant ainsi le trait de scie.

Perceuses à billes de type Kerma

Forets à billes de bronze uniques trouvés à Kerma, Nubie, et datés du deuxième intermédiaire

Point final.

genoux

Un morceau de cuir utilisé pour presser soit un mélange de déchets de sable en poudre et de boue, suivi de boue uniquement, sur la surface d'une pierre dure afin de la polir.

arbre attaché

Tout puits, droit ou fourchu, attaché avec une corde ou une corde à un puits principal d'un **Foret hélicoïdal/inversé.**

configuration de l'arbre principal

Le manche principal en bois, la poignée inclinée et le(s) poids(s) en pierre fixé(s) d'un **Foret hélicoïdal/inversé.**

ensembles de tiges assorties

Trois ou quatre tiges de bois courtes, avec leurs longueurs soigneusement ajustées à une dimension similaire.

malmener

1. Un gros outil de dolérite, éventuellement muni d'une poignée, et utilisé soit comme enfonceur-pieux, pour enfoncer des poteaux dans le sol, soit pour se balancer contre la pierre pour la casser. 2. Un outil allongé en pierre de basalte, de chert, de granit, de quartzite ou de calcaire silicifié. De nombreux mauls étaient pointus (pioches) ou arrondis et avaient souvent la forme d'une hache. Les maillets étaient parfois sculptés d'un cou, de manière à les munir de poignées. Deux bâtons ont été attachés au cou du maul en les tordant ensemble avec une lanière de cuir.

Voir également **livre.**

microlithe

Un petit outil en pierre, généralement de moins de 3 cm de long.

micron

Un micromètre (μm), un millionième de mètre.

Dureté de Mohs

Une échelle appliquée aux pierres pour déterminer les duretés relatives. Voir le tableau 1.1 pour la dureté Mohs des pierres.

mortaise

Une fente profonde, généralement taillée dans le bois, qui permet à un tenon de s'y insérer étroitement, formant ainsi un joint entre deux pièces de travail. Des fentes en forme de queue d'aronde étaient souvent découpées dans des blocs de pierre adjacents pour les joindre avec un crampon "papillon" en bois ou en bronze. Parfois, de grandes fissures dans la sculpture en pierre étaient renforcées avec des crampes de pierre en forme de «papillon». Voir également **tenon**.

mouler

Voir moule fermé et moule ouvert.

bloc de boue ou pack

Un remplissage proposé du plateau de table de forage simultané de perles multiples avec de la boue pour retenir les perles de pierre **dans une ligne** prêt pour la perforation.

plusieurs cœurs sur un même axe

La production de plusieurs carottes, la centrale étant pleine, les extérieures étant de forme tubulaire, sur un même axe par des forets tubulaires de diamètres différents.

natron

Un mélange alcalin naturel de sels de sodium, de carbonate, de bicarbonate, de chlorure et de sulfate.

nodule - silex et chert Pierres à base de silice naturellement formées déposées en formes alambiquées dans le lit calcaire de la mer peu profonde couvrant une partie de l'Égypte il y a des millions d'années.

articulation montante oblique

Un joint entre deux blocs de pierre, dont les faces d'extrémité s'élèvent à un angle

supérieur ou inférieur à 90° par rapport à leurs faces inférieures, et/ou s'élèvent à un angle supérieur ou inférieur à 90° par rapport à leurs faces avant.

moule ouvert

Un moule horizontal en sable humide, en pierre ou en poterie, ouvert vers le haut.

étrier extérieur

Un appareil pour mesurer la longueur ou le diamètre d'un objet, pas nécessairement en unités de mesure.

piocher (pierre)

Voir **malmener**.

polissage

Arrondissement de fosses angulaires et de stries à la surface d'une pierre avec un recouvrement de cuir et un agent de polissage, probablement de la boue.

livre

Habituellement, un marteau en pierre dure sphérique ou à peu près sphérique fabriqué principalement à partir de dolérite. Les exemplaires pesaient de 4 kg à 7 kg et étaient tenus à deux mains. Les broyeurs étaient généralement utilisés pour travailler le granit. Les pounders étaient également utilisés avec une poignée, et ces outils avaient des étranglements avec lesquels lier une poignée en position avec une lanière en cuir. Voir **malmener**.

sable en poudre

Les déchets sous-produits du forage tubulaire et du sciage de pierres dures avec des tubes en alliage de cuivre et des scies fonctionnant sur sable abrasif.

scie sauteuse

Scie dont les dents sont tournées vers l'opérateur.

perforation

L'enfoncement d'un outil pointu dans la surface d'un matériau.

scie à pousser

Une scie dont les dents sont éloignées de l'opérateur.

reconstruction

Un outil indiqué par les preuves archéologiques.

réplique

Une copie d'un ancien outil.

creuset en forme de rhyton

Un creuset en forme de ceux exposés dans la tombe de la VIe dynastie Mererouka à Saqqarah. Deux de ces creusets, représentés dos à dos dans cette tombe, seraient à l'origine du signe hiéroglyphique d'un pot en terre rouge de la date de l'Ancien Empire. Le signe de l'Ancien Empire est rond en bas, apparaissant dans les reliefs des tombes représentant des scènes de travail des métaux, où il indique soit l'utilisation du cuivre, soit identifie une personne en tant que métallurgiste.

tiges et ficelle

Trois ou quatre tiges, les deux extérieures reliées par une ficelle tendue. La ou les tiges non connectées servent à vérifier que la surface horizontale ou verticale de la pierre en tout point sous la corde est similaire à la hauteur de la corde au niveau des deux tiges extérieures. Voir également **courbe caténaire**.

pâte qui coule

Un mélange théorique d'eau boueuse et de sable en poudre finement broyé, le sous-produit des déchets du tube

perçage et sciage de la pierre avec abrasif au sable de quartz.

scie dentelée

Une scie en alliage de cuivre dont les dents étaient soit coupées dans le bord, soit limées avec des caoutchoucs de grès à arêtes vives. Voir également **flscie à chantourner, scie sauteuse et scie à pousser**.

perceuses à billes multiples simultanées

Un appareil de forage affiché dans plusieurs scènes de tombes thébaines datant des XVIIIe et XIXe dynasties. L'appareil se compose de deux perceuses ou plus entraînées simultanément avec un long arc en forme d'arc.

gravité spécifique

Voirdensité.

stries

Marques d'entaille, ou rainures, dans la pierre faites de cristaux de quartz. Dans les forages tubulaires, et sur leurs carottes, les stries sont horizontales aux axes verticaux. Dans les fentes de scie, ils sont longitudinal. Les surfaces de travail des outils sont également striées.

vérité superficielle

Une surface plane acceptable après vérification avec un instrument utilisé à cette fin.

soie

L'extrémité d'une scie, sur laquelle a été forcée une poignée en bois. Au début de la période dynastique, la soie pouvait avoir été tenue sans poignée.

tenon

Une languette de forme régulière s'insérant étroitement dans une mortaise, ce qui assure une sécurité

articulation entre deux pièces de travail. Voir également **mortaise**.

tournequet

Dispositif pour maintenir la tension d'un câble d'arrimage. Le mécanisme consistait en une tige de bois dont une extrémité était insérée dans la saisine, l'autre extrémité étant contrebalancée.

outil en silex trifacial

Un outil théorique en silex pour rainurer la pierre.

enclume tripode

Un dispositif illustré dans la tombe de Rekhmire de la XVIII^e dynastie, qui a aidé à former des récipients en métal. L'enclume consistait en une tige fourchue inversée, percée d'un trou incliné vers le haut. Une tige d'enclume a été glissée facilement à travers le trou aussi loin que la taille d'un navire l'exigeait, faisant ainsi un trépied. Le tassement des pièces du trépied et le poids du navire ont «verrouillé» fermement le trépied en place. Il peut également avoir été utilisé comme support pour la finition des surfaces extérieures des navires en pierre.

TRTD

Voir **Foret hélicoïdal/inversé**.

Noyaux de forme tubulaire

Carottes produites par l'utilisation de deux forets tubulaires ou plus sur le même axe. Voir également **plusieurs cœurs sur un même axe**.

moule ou fente de forme tubulaire L'utilisation de deux noyaux de boue séchée aurait pu permettre de réaliser un moule tubulaire en sable humide. Le noyau de plus grand diamètre peut être poussé verticalement

dans le sable et retiré. Le noyau de plus petit diamètre peut ensuite être poussé au centre dans le fond du trou. Le métal fondu versé dans le moule forme un tube.

tuyère

La buse à travers laquelle un flux d'air continu atteint le four.

Foret hélicoïdal/inversé Un outil pour percer et aléser des récipients en pierre de nombreux types de conception interne.

mode de fonctionnement

torsion/torsion inverse

Les deux mains tiennent généralement le **Foret hélicoïdal/inversé**, bien qu'il puisse être actionné d'une seule main. Une fois que les mains saisissent confortablement le manche et la poignée, les deux poignets sont tordus dans le sens des aiguilles d'une montre. Une torsion de 90° peut être réalisée. L'outil est ensuite tourné dans le sens inverse des aiguilles d'une montre jusqu'à sa position d'origine. Les actions se répètent constamment.

VPN

Numéro de pyramide de Vickers. Voir également **marques de dureté**.

taille (ed)

1. Terme utilisé pour décrire les constrictionnements jumelles opposées taillées dans un foreur de pierre en forme de huit. 2. La partie concave ou rétrécie d'un arbre de forage en bois, autour de laquelle la corde ou la corde d'un arbre d'arc est engagée.

errant

Pour éviter cela, une rainure initiale est nécessaire pour centrer un foret tubulaire sur la surface d'une pierre avant de percer

peut commencer. Une perceuse à billes a besoin d'une dépression grattée.

avec

Bâtons longs et fins de couleur verte pour tenir un creuset rempli de métal en fusion.

arc de menuisier

Les arcs existants, et ceux représentés dans les scènes de tombes, montrent la plupart des droites

arc-arbre courbé, ou courbé, à une extrémité, où l'artisan l'a tenue. Voir également **arc en forme d'arc**.

Support en forme de 'Y'

Un dispositif fabriqué à partir d'une branche fourchue robuste, utilisée par paires, pour soutenir un bois de construction navale pendant que des travaux y étaient effectués.

BIBLIOGRAPHIE

- Adams, B., *Égypte prédynastique*, Princes Risborough: Shire Publications, 1988. Aldred, C., *L'Égypte à la fin de l'Ancien Empire*, Londres: Thames and Hudson, 1965. Amer, M., 'Rapport annuel des fouilles de Maadi, 1930-32', *Bulletin de la Faculté de ArtsI*, 1933, p. 322-4.
- — "Rapport annuel des fouilles de Maadi, 1935", *CdÉXI*, 1936, p. 176-8. Arnold, D., *Construire en Égypte : la maçonnerie de pierre pharaonique*, New York : Université d'Oxford Presse, 1991.
- — *Le temple de Mentuhotep à Deir el-Bahari : d'après les notes d'Herbert Winlock*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1979.
- Aston, BG, *Navires en pierre égyptiens antiques*, Heidelberg: Heidelberger Orientverlag, 1994.
- Baumgartel, EJ, *Les cultures de l'Égypte préhistorique*, Oxford : Oxford University Press, vol. I, 1955.
- Beck, HC, 'Classification et nomenclature des perles et pendentifs', *Archéologie*77, 1927, p. 77, svp. II, III.
- — « Notes sur les pierres émaillées », *L'Égypte ancienne et l'Orient*, juin 1934, p. 19-37. Binns, CF, 'Une expérience de glaçure bleue égyptienne', *Journal de la céramique américaine Société*15, 1932, p. 71-2.
- Bisson de la Roque, F., 'Trésor de Tôd', *Catalogue Général des Antiquités Égyptiennes du Musée du Caire*, Le Caire : Imprimerie de l'Institut Français d'Archéologie Orientale, 1950.
- Blackman, AM, *Les tombeaux rupestres de Meir*, Londres : Egypt Exploration Society, 1914.
- Blackman, AM et Apted, MR, *Les tombeaux rupestres de Meir*, Londres : Exploration de l'Égypte Société, partie V, 1953.
- Boessneck, J. et von den Driesch, A., *Die Tierknochenfunde aus der neolithischen Siedlung von Merimde-Benisalâme am westlichen Nildelta*, Munich : Staatliche Sammlung Ägyptischer Kunst, 1985.
- Bomann, A., 'Wadi Abu Had/Wadi Dib', dans KA Bard (éd.) *Encyclopédie de l'archéologie de l'Égypte ancienne*, Londres et New York : Routledge, 1999.
- Bomann, A. et Young, R., 'Enquête préliminaire dans le Wadi Abu Had, Désert oriental, 1992', *JEA*80, 1994, p. 23-7, fig. 2.
- Borchardt, L., 'Beiträge zu 'GRIFFITH' Benihasan III', *ZÄS*XXV, 1897, p. 107.
- — «Ein altägyptisches astronomisches Instrument», *ZÄS*37, 1899, p. 10-17.
- — *Das Grabdenkmal des Königs Ne-User-Re-*, Leipzig: Hinrichs, 1907.
- — *Das Grabdenkmal des Königs Ša-h. tu-re-*, Leipzig : Hinrichs, vol. I, 1910. Bovier-Lapierre, P., 'Une nouvelle station néolithique (El Omari) au nord d'Héluouan (Égypte)', *Compte rendu*, Congrès International de Géographie IV, 1926.

- Poitrine, JH, *Une histoire de l'Égypte*, New York : Smith, Elder and Co., 1906. Bronowski, J., *L'ascension de l'homme*, Londres : British Broadcasting Corporation, 1973. Brunton, G., *Lahun I, le trésor*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1920.
- Brunton, G. et Caton-Thompson, G., *Civilisation badarienne et vestiges prédynastiques près de Badari*, Londres: British School of Archaeology in Egypt, 1928.
- Carnarvon, GE et Carter, H., *Explorations de cinq ans à Thèbes*, Londres : Egypte Société d'exploration, 1912.
- Carter, H., 'Rapport sur la tombe de Zeser-Ka-Ra Amenhetep Ier, découverte par le comte de Carnarvon en 1914', *JEA*3, 1916, p. 150.
- — *Le tombeau de Tut.Ankh.Amen*, Londres : Cassell, vol. III, 1933. Caton-Thompson, G., 'L'industrie néolithique du nord du désert du Fayoum', *JRAL*VI, 1926, p. 309–23.
- — "Fouilles récentes dans le Fayoum", *Homme*XXVIII, 1928, p. 109–13. Caton-Thompson, G. et Gardner, EW, *Le Fayoum du désert*, Londres : Le Royal Institut anthropologique de Grande-Bretagne et d'Irlande, 1934.
- Cawsey, DC et Farrar, NS, 'Un simple appareil coulissant pour la mesure de la roche frottement articulaire', *Géotechnique*, XXVI, juin 1976, p. 382–6.
- C-erný, J., 'Égypte : de la mort de Ramsès III à la fin de la XXIe dynastie', dans IES Edwards (éd.), *L'histoire ancienne de Cambridge*, Cambridge : Cambridge University Press, vol. II(2), 1975.
- Clarke, S. et Engelbach, R., *Maçonnerie égyptienne antique*, Oxford : Presse universitaire d'Oxford, 1930.
- Coghlan, HH, *Notes sur la métallurgie préhistorique du cuivre et du bronze dans l'Ancien Monde*, Oxford : presse universitaire d'Oxford, 1951.
- Colson, MA, 'Sur la fabrication de certains outils métalliques chez les Égyptiens', *ASAÉ* IV, 1903, p. 190–2.
- Coulomb, Californie, *Théorie des machines simples*, Paris : Bachelier, 1821.
- Cowell, M., 'La composition de la ferronnerie égyptienne à base de cuivre', dans AR David (éd.) *Sciences en égyptologie*, Manchester: Manchester University Press, 1986.
- Currelly, CT, 'Stone met en œuvre', *Catalogue Général des Antiquités Égyptiennes du Musée du Caire*, Le Caire : Imprimerie de l'Institut Français d'Archéologie Orientale, 1913.
- Curry, A., Anfield, C. et Tapp, E., 'L'utilisation du microscope électronique dans l'étude de paléopathologie », dans AR David (éd.) *Sciences en égyptologie*, Manchester: Manchester University Press, 1986.
- Davey, CJ, 'Creusets de la collection Petrie et idéogrammes hiéroglyphiques pour le métal', *JEA* 71, 1985, p. 142–8.
- Davies, N. de G., *Les tombes rupestres de Deir el Gebrâwi*, Londres : Egypt Exploration Fund, volumes I, II, 1902.
- — *Le tombeau de Puyemrê à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, vol. I, 1922.
- — *Les tombeaux de deux fonctionnaires de Thoutmosis IV à Thèbes*, Londres: Egypt Exploration Society, volumes I, II, 1923.
- — *Le tombeau des deux sculpteurs à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1925.
- — *Le tombeau de Rekh-mi-Rê' à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, volumes I, II, 1943.
- Debono, F., 'El Omari (près d'Hélouan), sommaire exposé sur les campagnes des fouilles 1943–1944 et 1948', *ASAÉ*48, 1948, p. 561–9.

- Debono, F. et Mortensen, B., *El Omari : un habitat néolithique et d'autres sites dans le Environs de Wadi Hof, Helwan*, Mayence : Philipp von Zabern, 1990.
- Duell, P. (éd.) *Le tombeau de Mereruka*, Chicago: L'Université de Chicago Oriental Institut, volumes I, II, 1938.
- Edgar, CC, 'Études de sculpteurs et travaux inachevés', *Catalogue Général des Antiquités Égyptiennes du Musée du Caire*, Le Caire : Imprimerie de l'Institut Français d'Archéologie Orientale, 1906.
- Edwards, IES, *Les pyramides d'Égypte*, Harmondsworth : Viking, 1986.
- Eichholz, DE, *Histoire naturelle de Pline*, Londres et Cambridge, MA : Université de Harvard Presse, 1962.
- Eiwanger, J., *Merimde-Benisalâme*, Mayence : Philipp von Zabern, volumes I-III, 1984-92.
- Emery, WB, *Égypte archaïque*, Harmondsworth: Penguin Books, 1984.
- Engelbach, R., *Le problème des obélisques*, Londres : T. Fisher Unwin, 1923.
- — 'Preuve de l'utilisation d'un pic de maçon dans l'Égypte ancienne', *ASAÉXXIX*, 1929, p. 19-24.
- Fay, B., *Musée égyptien de Berlin*, Berlin-Charlottenburg : Ägyptisches Museum, 1984.
- Firth, CM, Quibell, JE et Lauer, J.-P., *La pyramide à degrés*, Le Caire : Imprimerie de l'Institut Français d'Archéologie Orientale, volumes I, II, 1935-6.
- Fisher, MJ et Fisher, DE, *Mystères des empires perdus*, Londres : Channel 4 Books, 2000.
- Gardiner, A., *Grammaire égyptienne*, Oxford: Griffith Institute, Ashmolean Museum, 1976.
- Gilmore, GR, "La composition des métaux Kahun", dans AR David (éd.) *Sciences en égyptologie*, Manchester: Manchester University Press, 1986.
- Gonim, MZ, *La pyramide enterrée*, Londres : Longmans, Green and Co., 1956.
- Gorelick, L. et Gwinnett, AJ, 'Ancient Egyptian stone drill: an experimental point de vue sur un désaccord savant', *expédition* 25, 3, 1983, p. 40-7.
- — « Sceaux minoens versus mésopotamiens : méthodes de fabrication comparées », *Irak* IV, 1992, p. 62.
- Gorringer, HH, *Obélisques égyptiens*, Londres : JC Nimmo, 1885.
- Goyon, G., 'Les instruments de forage sous l'ancien empire Égyptien' *Jahresbericht Ex Orient Lux* VII, 1967, pl. XXIII.
- Griffith, FL, *Beni Hassan III*, Londres: Egypt Exploration Fund, 1896.
- Gwinnett, AJ et Gorelick, L., 'Une réparation ancienne sur une statuette cycladique analysée à l'aide La microscopie électronique à balayage' *Journal d'archéologie de terrain* 10, 1983, p. 378-84.
- Harrell, JA et Brown, VM, *Relevé topographique et pétrologique de l'Égypte ancienne Carrières*, Tolède, OH : Université de Tolède, 1995.
- Hartenberg, RS et Schmidt, Jr., J., 'La perceuse égyptienne et l'origine de la manivelle', *Technologie et culture* 10, 1969, p. 155-65.
- Hassan, S., *Fouilles à Gizeh 1930-1931*, Le Caire : Government Press, 1936.
- Hayes, WC, *Le Sceptre d'Égypte*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1953.
- Hérodote, *Les Histoires Livre II*, Harmondsworth: Penguin Books, 1961.
- Hill, J., "Histoire des pierres" de Théophraste, Londres : J. Hill, 2 livres, 1774.
- Hoffmann, MA, *L'Égypte avant les pharaons : les fondements préhistoriques de l'Égypte Civilisation*, Londres et Henley : Routledge et Kegan Paul, 1980.
- Isler, M., « Les curieux obélisques de Louxor », *JEAT* 73, 1987, p. 137-47.
- James, TGH, *Une introduction à l'Égypte ancienne*, Londres : Book Club Associates, 1979.
- Jenkins, N., *La barque sous la pyramide*, Londres : Thames and Hudson, 1980.
- Junker, H., *Gizeh*, Vienne et Leipzig : Hinrichs, vol. I, 1929.

- — «Vorläufiger Bericht über die Grabung der Akademie der Wissenschaften in Wien auf der neolithischen Siedlung von Merimde-Benisalame (Westdelta)», *Anzeiger der Akademie der Wissenschaften à Vienne, Philosophische-historische Klasse* XVI-XXVIII, 1929, p. 156-250 ; V-XIII, 1930, p. 21-83 ; I-IV, 1932, p. 36-97 ; XVI-XXVII, 1933, p. 54-97 ; X, 1934, p. 118-32 ; I-V, 1940, p. 3-25.
- Kaczmarczyk, A. et Hedges, REM, *Faïence égyptienne antique*, Warminster : Aris et Philips, 1983.
- Kiefer, C. et Allibert, A., 'Les céramiques bleues pharaoniques et leur procédé révolutionnaire d'émail', *Industrie Céramique*, mai 1968, p. 395-402. Klemm D. et Klemm, R., *Die Steine de Pharaonen*, Munich : Staatliche Sammlung Ägyptischer Kunst, 1981.
- Lane, M., 'La scie sauteuse en Egypte', *L'Égypte ancienne et l'Orient*, juin 1935, p. 57. Lauer, J.-P., *Histoire Monumentale des Pyramides d'Égypte*, Le Caire : Imprimerie de l'Institut Française d'Archéologie Orientale, 1962, vol. Je, pl. V
- Leek, FF, 'Dents et pain dans l'Égypte ancienne', *JE*458, 1972, p. 126-32.
- — 'L'histoire dentaire des momies de Manchester', dans AR David (éd.) *Projet de momie du musée de Manchester. Recherche multidisciplinaire sur les restes momifiés égyptiens antiques*, Manchester: Manchester University Press, 1979.
- Lehner, M., 'Cité perdue des pyramides', *L'Égypte révélée*, automne 2000, p. 42-57. Lepsius, R., *Die alt-ägyptische Elle*, Berlin : Buchdruckerei der Königl. Académie der Wissenschaften, 1865.
- Lucas, A. et Harris, JR, *Matériaux et industries de l'Égypte ancienne*, Londres : Edouard Arnold, 1962.
- Macé, AC, *Cimetières dynastiques anciens de Naga ed-Dêr*, Los Angeles : Université de Publications de Californie, vol. II, 1909.
- Mackay, E., 'Le découpage et la préparation des chapelles funéraires dans la nécropole thébaine', *JE* VII, 1921, p. 163-4.
- — 'La fabrication de perles dans l'ancien Sind', *Journal de la société orientale américaine* 57, 1937, p. 1-7, pl. II, 5, III, 5, 8.
- Maddin, R., Stech, T., Muhly JD et Brovanski, E., 'Modèles de l'Ancien Empire de la tombe d'Impy : études métallurgiques', *JE*470, 1984, p. 33-41.
- Maréchal, JR, 'Les outils égyptiens en cuivre', *Métaux, Corrosion, Industries* XXXII, 1957, p. 132-3.
- Mond, RL et Myers, OH, *Les cimetières d'Armant*, Londres : Exploration de l'Égypte Société, 1937.
- Moores, RG, 'Preuve de l'utilisation d'une scie à chaîne pour tailler la pierre par la quatrième dynastie des Égyptiens', *JARC* 28, 1991, p. 143.
- Moorey, SRP, *Matériaux et fabrication dans l'ancienne Mésopotamie : la preuve de Archéologie et art, Métaux et ferronnerie, Matériaux émaillés et verre*, Oxford: British Archaeological Reports, International Series S237, 1985.
- Murray, MA, *Les mastabas de Saqqarah*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, vol. JE, 1905.
- Naville, E., 'Fouilles à Henassieh (Hanes)', *Extra spécial du Fonds d'exploration de l'Égypte Reportage*, 1891, p. 8, 9.
- — *Cimetières d'Abydos*, Londres : Egypt Exploration Society, vol. Je, 1914.
- Newberry, PE, *El-Bersheh*, Londres: Egypt Exploration Fund, 1895.
- — *La vie de Rekhmara*, Londres : Archibald Constable, 1900. Nibbi, A., « Quelques remarques sur le cuivre », *JARC* XIV, 1977, p. 59-66.

- Nicholson, PT et Peltenburg, EJ, 'Egyptian Faience', dans PT Nicholson et I. Shaw (eds) *Matériaux et technologie de l'Égypte ancienne*, Cambridge : Cambridge University Press, 2000.
- Noble, JV, 'La technique de la faïence égyptienne', *Journal américain d'archéologie* 73, 1969, p. 435-9.
- Pearson, CE et Smythe, JA, 'Examen d'un ciseau romain de Chesterholm', *Actes de la Société philosophique de l'Université de Durham* 9 (3), 1938, p. 141-5. Peet, TE, *Cimetières d'Abydos, partie II, 1911-1912*, Londres : Egypt Exploration Society, 1914.
- Petrie, WMF, *Les pyramides et les temples de Gizeh*, Londres : Field et Tuer, 1883.
- — « Sur les méthodes mécaniques des anciens Égyptiens », *JRA* 13, 1884, p. 93.
- — *Kahun, Gurob et Hawara*, Londres : Kegan Paul, Trench, Trübner, and Co., 1890.
- — *Illahun, Kahun et Gurob*, Londres : David Nutt, 1891.
- — *Tell el-Amarna*, Londres : Methuen, 1894.
- — *Deshasheh*, Londres : Egypt Exploration Fund, 1898.
- — *Tombes royales des premières dynasties*, Londres : Egypt Exploration Fund, volumes I, II, 1900-1.
- — *Les arts et métiers de l'Égypte ancienne*, Edimbourg et Londres : TN Foulis, 1909.
- — *Outils et Armes*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1917.
- — *La vie sociale dans l'Égypte ancienne*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1923.
- — "La construction d'une pyramide", *AE*, 1930, vol. II, p. 34.
- — *Le mobilier funéraire d'Égypte [et] les vases en pierre et en métal*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1937.
- — *Architecture égyptienne*, Londres : British School of Archaeology in Egypt, 1938. Petrie, WMF, Brunton, G. et Murray, MA, *Lahoun II, La Pyramide*, Londres : britannique École d'archéologie en Égypte, 1923.
- Quibell, JE, 'Récipients en pierre de la pyramide à degrés', *ASAÉ* 35, 1935.
- Quibell, JE et Green, FW, *Hiérakonpolis II*, Londres : British School of Archaeology à Égypte, 1902.
- Reisner, Géorgie, *Cimetières dynastiques anciens de Naga ed-Dêr*, Los Angeles : Université de Publications de Californie, vol. I, 1908.
- — *Fouilles à Kerma*, Cambridge, MA : Peabody Museum de l'Université de Harvard, 1923.
- — *Mycerinus, les temples de la troisième pyramide de Gizeh*, Cambridge, MA : Harvard University Press, 1931.
- Rickard, TA, *L'homme et les métaux*, New York : Arno Press, vol. I, 1932. Riederer, J., "Analyse des métaux des bronzes égyptiens", *RAS*, 1981, p. 239-43.
- Röder, J., 'Steinbruchgeschichte des Rosengranits von Assuan', *Archäologischer Anzeiger* 3, 1965, p. 461-551.
- Rothenberg, B., 'Excavations at Timna Site 39. A chalcolithic copper smelting site and four et sa métallurgie', *Numéro de monographie archéo.métallurgie* 1, 1978, p. 11, fig. 11.
- Dit, R., *L'évolution géologique du Nil*, New York : Springer-Verlag, 1981. Sebilian, J., 'Le cuivre ancien et ses alliages', *AE*, mars 1924, p. 8.
- Seton Karr, MHW, 'Comment les galeries funéraires de Thèbes ont été taillées et le calcaire extrait', *ASAÉ* VI, 1905, p. 176-84.
- Shaw, I., Bloxam, E., Bunbury, J., Lee, R., Graham, A. et Darnell, D., 'Survey and fouilles dans les carrières de gneiss et de quartz de Gebel el-Asr en Basse Nubie (1997-2000) », *Antiquité* 75, 2001, p. 33-4.

- Shaw, JW, 'Architecture minoenne : matériaux et techniques', *Annuario della Scuola Archéologie d'Atène*49, 1971, p. 69-70, fig. 61-3.
- Berger, W., *Le silex : son origine, ses propriétés et ses utilisations*, Londres : Faber, 1972.
- Simpson, WK (éd.) *La littérature de l'Égypte ancienne*, New Haven et Londres : Yale Presse universitaire, 1972.
- Snape, SR et Tyldesley, JA, 'Deux scènes égyptiennes de taille de silex', *Lithiques*4, 1983, p. 46-7.
- Spencer, AJ, *La mort dans l'Égypte ancienne*, Harmondsworth: Penguin Books, 1982.
- Spurrell, FCJ, 'Les outils en pierre de Kahun', dans WMF Petrie, *Illahun, Kahun et Gourob*, Londres : David Nutt, 1891.
- Steindorff, G., *Das Grab des Ti*, Leipzig: Hinrichs, 1913.
- Stocks, DA, 'Le travail du bois et de la pierre dans l'Égypte ancienne : la fabrication expérimentale fabrication and use of copper, bronze and stone tools', mémoire non publié, Université de Manchester, 1982.
- — 'Bâtons et pierres de la technologie égyptienne', *Archéologie populaire*7 (3), 1986, p. 24-9.
- — « Fabrication de vases en pierre », *Archéologie populaire*7 (4), 1986, p. 14-18.
- — « Production de perles dans l'Égypte ancienne », *Archéologie populaire*7 (5), 1986, p. 2-7.
- — 'Outils de l'ancien artisan', *Archéologie populaire*7 (6), 1986, p. 25-9.
- — « Techniques expérimentales de pose de blocs de pierre : utilisation proposée d'une réplique d'un outil de l'Égypte ancienne », *Le bulletin archéologique de Manchester*2, 1987, p. 42-50.
- — 'Industrial technology at Kahun and Gurob: experimental manufacture and test of replica and reconstruit tools with specified uses and effects on artefact production', thèse non publiée, Université de Manchester, volumes I, II, 1988.
- — « Techniques anciennes de production en série dans les usines : indices de la fabrication à grande échelle de perles de pierre pendant la période du Nouvel Empire égyptien », *Antiquité*63, 1989, p. 526-31.
- — « Indices de l'interdépendance industrielle de l'Égypte ancienne: une déclaration préliminaire », *Le bulletin archéologique de Manchester*4, 1989, p. 21-6.
- — « Fabrication de vases en pierre dans l'ancienne Mésopotamie et l'Égypte », *Antiquité*67, 1993, p. 596-603.
- — « La technologie et le roseau », *Le bulletin archéologique de Manchester*8, 1993, p. 58-68.
- — « Dérivation de matériaux de base et de glaçure en faïence de l'Égypte ancienne », *Antiquité*71, 1997, p. 179-82.
- — « Fabrication de sarcophages en pierre dans l'Égypte ancienne », *Antiquité*73, 1999, p. 918-22.
- 'Méthodes romaines de travail de la pierre dans le désert oriental d'Egypte', dans NJ Higham (éd.) *L'archéologie de l'empire romain : un hommage à la vie et à l'œuvre du professeur Barri Jones*, Oxford : Archéopress, 2001.
- — « Test des méthodes de travail du granit de l'Égypte ancienne à Assouan, en Haute-Égypte », *Antiquité*75, 2001, p. 89-94.
- — « Interrelations techniques et matérielles : implications pour le changement social dans l'Égypte ancienne », dans W. Wendrich et G. van der Kooij (eds) *Moving Matters: Ethnoarchéologie au Proche-Orient. Actes du Séminaire international tenu au Caire, 7-10 décembre 1998*, Leyde : Université de Leyde, 2002.
- Stone, JFS et Thomas, LC, 'L'utilisation et la distribution de la faïence dans l'ancien Orient et l'Europe préhistorique', *Actes de la Société préhistorique*22, 1956, pages 37ff.

- Täckholm, V. et Täckholm, G., *Flore d'Égypte*, Königstein : Otto Koeltz Antiquariat, vol. I, 1973.
- Teeter, E., 'Techniques et terminologie de la corderie dans l'Égypte ancienne' *JEAT3*, 1987, pp. 71-7, pl. VII, 3, VIII, 1, 2, IX.
- Tillmann, A., 'Dynastic stone tools', in KA Bard (éd.) *Encyclopédie de l'archéologie de L'Égypte ancienne*, Londres et New York : Routledge, 1999.
- Timochenko, S. et Young, DH, *Ingénierie Mécanique*, Tokyo : McGraw Hill Kogakusha Ltd, 1956.
- Tite, MS, 'Bleu égyptien, faïence et matériaux apparentés : recherches technologiques', in RE Jones et HW Catling (eds) *Sciences en archéologie2*, Londres : British School at Athens, 1986.
- — «Caractérisation des premiers matériaux vitreux», *Archéométrie29*, 1987, p. 23-4. Tite, MS et Bimson, M., 'Faïence : une enquête sur les microstructures associées à les différentes méthodes d'émaillage', *Archéométrie28*, 1986, p. 69.
- Tylecote, RF, *Métallurgie en archéologie*, Londres : Edward Arnold, 1962.
- Tylecote, RF et PJ Boydell, 'Expériences sur la fusion du cuivre basées sur les premiers fours trouvés à Timna', *Numéro de monographie archéo.métallurgie1*, 1978, p. 27-51. Vandiver, PB, 'Changement technologique dans la faïence égyptienne', dans JS Olin et AD Franklin (eds) *Céramique Archéologique*, Washington, D.C. : Smithsonian Institution Press, 1982.
- — « Annexe A : la fabrication de la faïence », dans A. Kaczmarczyk et REM Hedges, *Faïence égyptienne antique*, Warminster : Aris et Phillips, 1983.
- Vandiver, PB et Kingery, WD, 'La faïence égyptienne : la première céramique de haute technologie', dans WD Kingery (éd.) *Céramique et civilisation3*, Westerville, OH : American Ceramic Society, 1986.
- Vattenbyggnadsbyrån (VBB), *Le sauvetage des temples d'Abou Simbel, rapport final - Décembre 1971*, Stockholm : Vattenbyggnadsbyrån, 1971.
- Warren, PM, *Vases en pierre minoenne*, Cambridge : Cambridge University Press, 1969.
- — «La jarre en marbre rouge inachevée d'Akroteri, Théra», *Théra et le monde égéenI*, 1978, p. 564.
- Weinstein, J., 'Une référence de la Cinquième Dynastie au recuit', *JARCÉXI*, 1974, p. 23-5.
- Sauvage, H., *Le Tombeau de Ti*, Le Caire : Government Press, vol. III, 1953.
- Woolley, CL, *Fouilles d'Ur*, Oxford : Les administrateurs du British Museum et le Musée de l'Université de Pennsylvanie, Philadelphie, vol. II, 1934.
- — *Fouilles d'Ur*, Oxford: The Trustees of the British Museum and the Museum of the University of Pennsylvania, Philadelphia, vol. IV, 1955.
- Wreszinski, W., *Atlas zur altägyptischen Kulturgeschichte*, Leipzig : Hinrichs, volumes I, II, 1923.
- Zuber, A., 'Techniques du travail des pierres dures dans l'Ancienne Égypte', *Techniques et Civilisations30*, 1956, p. 195-215.

SOURCES DES FIGURES

Chapitre 1 : 1.1-1.3 D. Stocks ; 1.4 Actions Jeffrey ; 1,5 à 1,10 D. Actions ; 1.11 J. Actions.

Chapitre 2 : 2.1 J. Stocks ; 2.2 D. Stocks, d'après AM Blackman et MR Apted, *Les tombeaux rupestres de Meir*, Londres : Egypt Exploration Society, partie V, 1953, pl. XVIIIe ; 2,3 J. Stocks ; 2,4, 2,5 D. Actions ; 2,6-2,8 J. Stocks ; 2,9 D. Actions ; 2.10, 2.11 J. Actions ; 2.12 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē ' à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LIII ; 2.13-2.18 J. Actions ; 2.19 D. Actions ; 2.20 D. Stocks, après AM Blackman et Monsieur Apted, *Les tombeaux rupestres de Meir*, Londres : Egypt Exploration Society, 1953, partie V, pl. XVI ; 2.21 D. Actions ; 2.22, 2.23 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē ' à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LIV ; 2.24 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē ' à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LII ; 2,25 D. Actions ; 2,26 J. Actions ; 2.27 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē ' à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LX ; 2,28 J. Actions ; 2.29 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekhmi-Rē ' à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LV ; 2.30 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē ' à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LIII ; 2,31-2,38 J. Actions ; 2.39-2.41 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē ' à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LII ; 2,42 J. Actions ; 2.43 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē ' à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LII ; 2,44 D. Stocks ; 2,45 J. Actions ; 2,46 D. Stocks ; 2,47-2,55 J. Actions ; 2,56 D. Stocks 2,57 D. Stocks, d'après WMF Petrie, *Deshasheh*, Londres : Egypt Exploration Fund, 1898, pl. XXI ; 2,58, 2,59 J. Actions ; 2.60 D. Stocks, d'après AM Blackman et MR Apted, *Les tombeaux rupestres de Meir*, Londres : Egypt Exploration Society, partie V, 1953, pl. XVIIIe ; 2.61 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē ' à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LIII.

Chapitre 3 : 3.1-3.3 D. Stocks ; 3.4 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē ' à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LX ; 3,5-3,19 J. Stocks ; 3,20 D. Actions.

Chapitre 4 : 4.1 D. Stocks ; 4,2 à 4,15 J. Stocks ; 4.16 Barry Oswald ; 4,17 J. Actions ; 4.18 B.Oswald ; 4.19, 4.20 J. Actions ; 4.21, 4.22 D. Actions ; 4.23–4.26 Terry Dowker.

Chapitre 5 : 5.1–5.5 J. Actions ; 5,6, 5,7 D. Actions ; 5.8 D. Stocks, d'après AM Blackman, *Les tombeaux rupestres de Meir*, Londres : Egypt Exploration Society, 1914, pl. V ; 5.9 D. Stocks, d'après AM Blackman et MR Apted, *Les tombeaux rupestres de Meir*, Londres : Egypt Exploration Society, 1953, partie V, pl. XVIIe ; 5.10 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē ' à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LIV ; 5.11 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau des deux sculpteurs à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1925, pl. XI ; 5.12 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Puyemrê à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1922, vol. Je, pl. XXIII ; 5.13 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Les tombes rupestres de Deir el Gebrâwi*, Londres : Egypt Exploration Fund, 1902, vol. Je, pl. XXIV ; 5.14 J. Actions ; 5,15 D. Stocks ; 5.16–5.39 J. Actions.

Chapitre 6 : 6.1–6.6 D. Stocks.

Chapitre 7 : 7.1 D. Stocks ; 7,2 à 7,4 J. Stocks ; 7,5 à 7,9 D. Stocks ; 7.10 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē ' à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LXII ; 7.11, 7.12 J. Actions ; 7.13–7.16 D. Actions ; 7.17, 7.18 J. Actions ; 7.19 D. Actions.

Chapitre 8 : 8.1–8.4 J. Actions ; 8,5 D. Actions ; 8.6 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Puyemrê à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, vol. I, 1922, pl. XXIII ; 8.7 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau de Rekh-mi-Rē ' à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1943, vol. II, pl. LIV ; 8.8 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Les tombeaux de deux fonctionnaires de Thoutmosis IV à Thèbes*, Londres : Egypt Exploration Society, 1923, vol. II, pl. X ; 8,9 D. Actions ; 8.10 D. Stocks, d'après N. de G. Davies, *Le tombeau des deux sculpteurs à Thèbes*, New York : Metropolitan Museum of Art, 1925, pl. XI ; 8.11–8.23 J. Actions ; 8.24 D. Actions.

Chapitre 9 : 9.1, 9.2 J. Stocks ; 9.3 Michel Tite ; 9.4 J. Actions.

INDICE

- herminette 18, 20, 28, 65, 69, 191 ; bronze 58 ;
cuivre 12, 25, 31, 43, 58, 63, 103,
155, 170, 234, figures 2.1, 2.9-11,
2.16 ; silex 75, 80, 84, 96, 103, 155,
170, 235
- Châssis "A" 180, 189, 191, 193, 194, 237,
Figure 7.2
- agate 16, 203
- albâtre *voir* améthyste albâtre égyptien
16, 204, 205, 207, 214, 222 amulette
203, 222, 225
- recuit 59, 60, 62, 118
- anthropoïde *voir* antimoine
- sarcophage 57
- enclume 50, 59 ; pierre 44, figures 2.28, 2.29 ;
trépidé 44, 235, 239, Figures 2.31-3
- pointe de flèche 11, 33, 82, 204
- arsenic 57
- Arundo donax* (roseau espagnol) *voir*
végétation
- cendres 20, 34, 226
- poinçon 48, 50, 58, figure 2.39
- hache 18, 20, 25, 43, 56, 58, 69, 234 ;
emmanché 28
- tête de hache 28, 34 ; bronze 28, 40 ; le cuivre
12, 28, 29, 40, figure 2.25 ; silex 11,
25, 75 ; emmanché Figure 2.2 ; cosse 28,
figure 2.1 ; pierre ovale 12, figure 1.4
- basalte 1, 11-13, 17, 74, 76, 81, 104, 106,
108, 126, 128, 130, 140, 141,
157-59, 170, 172
- bas-relief 64, 65, 74, 77, figures 2.54,
2.55
- baie* 180
- perceuse à billes 2, 58, 203, 204, 208 ; silex ;
Kerma simple 50, 51, 56, 205-7, 221,
237, figures 8.1-3 ; multiple thébain
19, 51, 56, 208, 209, 211, 212, 217, 219-22,
237, 239, figures 1.10, 8.6-10, 8.14, 8.18-
21, 8.23 ; tige végétale 207 ; *voir également*
percer
- perles 2, 12, 13, 15, 16, 51, 82, 124, 204,
207, 208, 215, 219, 222, 225, 237, figures
1.10, 8.4 ; canon 203 ; cuivre 12 ; cylindre
203 ; disque 203 ; faïence 203 ; verre 203 ;
long bicône convexe 203, figure 8.5 ;
production en série de 222 ; anneau 203 ;
sphéroïdal 203, 207, figure 8.24 ; tubulaire
(canne) 203
- soufflets 36, 37, 39, 40, 235, Figure 2.23
- banc (en pente) 203 ; douille dans 164
- biface 12
- lame 11
- blocs 2, 8, 83, 106, 136, 179, 183-5,
187, 190-5, 197, 198 ; boîtier- 20, 179,
181, 183-6, 190-2, 194, 196, 197,
figures 7.1, 7.7-9, 7.15 ; noyau - 179,
181, 183, 184, 191, 192, figures 1.2,
7.5, 7.6 ; figures d'essai 7.17, 7.18 ; feu
de bois 52-5
- chalumeau 36, 239 ; fourneau 37-9,
114-16, 235, 238, figures 2.20, 2.21 ;
bijouterie 38, 39, figure 2.22 ; *voir*
également végétation (roseau commun)
- os 20
- foreuse 2, 11, 12, 19, 50, 104, 142, 148,
162, 163, 165, 234, 236, 237, 239 ;
bronze 48, figure 2.35 ; croissant de
chert 18, 19, 139, 140, 145, 148, Figure
5.2 ; circulaires 143, 144, 153, 155 ;
conique 145 ; en forme de huit 142-45,
149, 153, 155, 161-4, figures 5.1, 5.4,
5.5, 5.35-7 ; silex 50, 54, 75, 104 ;
croissant de silex 18, 19, 96,
139, 140, 145, 148, 153, 157, 204,

- Figure 5.1 ; portatif 139, 149;
grès 149
- patron 193
- arc 13, 20, 50, 52, 107, 108, 111, 116,
120, 127, 131, 133, 143, 155, 235; en forme
d'arc 120, 174, 208, 209, 212, 213, 216,
219, 237, 239, Figure 8.13 ; en forme de
coude 54, 118, figure 4.7 ; bijouterie 205;
trois travailleurs 129, 131, 136, 174-76,
Figure 4.21
- brasier Figure 2.22
- brèche 17, 140, 141
- brique *voir* boue
- maçon 7
- bronze 12, 15, 18, 21, 32, 37, 38, 40, 43,
50, 57, 94, 96, 108, 116, 117, 176,
205, 221, 231 ; plomb 57, 60 ; *également*
foreur, ciseau, cuir, poinçon et scie
- burin 75, 234
- poudres de sous-produits 19, 229, Figures
4.14-16, 4.18, 9.1 ; *see aussi* déchets de
forage et de sciage poudres et sable
(poudres)
- calcite 1, 2, 12, 13, 15, 17, 20, 32, 42, 63,
64, 74, 75, 81-84, 96, 104, 106, 107,
111, 112, 116, 120, 126, 128, 139-
41, 146, 147, 149, 157, 159, 161,
170, 172, 175, 203, 204, 206,
216, 222, 227, 236, Figure 5.14
- piéd à coulisse *voir* intérieur, extérieur et
couronnement Vernier 13, 33, 52, 54, 89, 111, 118,
131, 133, 135, 174, 212, Figure 4.6
- carbone 18, 55, 214 cornaline 16,
203-05, 207, 220 charpentier 7
- fonderie *voir* fourneau
- courbe caténaire 191
- céramique 225, 226
- calcédoine 11
- charbon de bois 20, 37
- silex 16, 20, 75, 77, 81-3, 96 143 ; *voir également*
alésioir, burin, perceuse, couteau, poinçon et
grattoir
- marque en forme de chevron 106, 170 burin
18, 19, 30, 31, 34, 57, 59, 83, 86,
88, 134, 135, 190 ; bronze 12, 21, 58,
59, 62, 64, 65, 69, 93, 236, Chiffres
2,50, 2,52 ; silex 81, 82, 90, 236-38 ;
cuivre 12, 21, 25, 43, 58, 62, 63, 65,
69, 156, 159, 170, 236; travers 27,
28, 63, 155, figures 2.3, 2.4 ; appartement 19,
27, 28, 33, 63, 155, figures 2.3, 4.24 ;
silex 25, 62, 75, 79-81, 84, 86, 90-93, 95,
103, 141, 155-57, 170, 172, 175, 236-8,
figure 3.8 ; fer 12, 64, 69, 77, 79; bronze
au plomb 62, 64, 69, 236 ; acier 27, 63,
64, 78 ; travail de la pierre 19; travail du
bois 27, 29, 30, 63, figures 2.5-7
- argile 8, 20, 34, 35, 38, 40, 92 cercueil 169 ; *voir*
également colonne de sarcophage 10, 84, 91,
96, figures 1.3, 3.5 roseau commun *voir* cône de
végétation 131, 204
- cuivre 1, 11-13, 15, 21, 25, 32, 34, 37,
38, 42-44, 46, 48, 50, 56, 57, 59, 60,
74, 80, 82, 94-6, 108, 112, 114, 116,
117, 121, 130, 134, 135, 142, 176,
203, 227, 229, 231, 236, 238 ; *voir également*
herminette, hache, perles, ciseau, couteau,
scie et coin
- chaudronnier 7
- cordón 33
- noyau 107, 116, 124, 126, 133-35, 142,
153, 158, 159, 161, 165, 174, Chiffres
4.17, 4.24, 4.25 ; pierre de forme tubulaire
157-59, 165 ; en bois 114
- corindon *voir* émeri
- contrepoids *voir* levier
- creuset 37, 39, 42, 43, 58 ; bol 41 ;
globuleux 41 ; ovale 41 ; rythme 37, 41 ;
forme large peu profonde 40, 41, figure
2.24 ; carbure de silicium 56, figure 2.49 ;
voir également poterie
- toises coudées 173; doigt royal
173 ; palme royale 173, 174
- Deir el-Medina 3, 116, 180 denticulé *voir*
couteau et faucille *Desmostachya bipinnata*
(une demi-herbe) *voir*
végétation
- diaphragme *voir* soufflet
- diorite 17, 32, 63, 69, 74, 78, 81, 83, 88,
92-4, 114, 116, 120, 126, 128, 140,
141, 143, 145, 172, 176, 203, figure
3.11
- dolérite 76, 79, 81, 131, 186
- cheville 33, 169
- foret 11, 12, 205 ; arc-19, figures 2.12,
4.22 ; chert 204; feu 50-55, Chiffres
2.44-7 ; anche tubulaire 50, 111, 112,
114, 116, 139, 207, 235, 236; -Stock
50, 52-55, 237, 239, Figure 2.46 ;
- tube (cuivre) 1, 2, 12, 13, 20, 32, 42,
43, 51, 56, 58, 62, 89, 103, 104,

- 106-108, 111, 113, 114, 116-118,
120, 121, 124, 127-29, 131, 133,
136, 140-2, 144, 145, 148, 150, 152-4,
157, 158, 161, 163, 165, 170, 172-75,
231, 235-7, 239, figures 1.5, 4.3, 4.8,
4.9, 4.12, 4.21, 5.18, 5.29,
6.4, 6.6 ; tige cintrée 50, 51, 116,
118, 205, 206 ; bois 32, 33, 50, 51,
56, 58, 62, 69, 108, 212, Figures 2.12,
2.13, 2.41, 2.42; voir également perceuse à billes
- Albâtre égyptien 1, 108, 109, 145, 196 ;
voir également calcite
- el-Amra 12
el Badari 12
émeri 104, 109, 111, 126, 128, 204, 207
relief d'en-Creux voir grattoir relief incisé
11, 19, 25, 27, 96, 234,
Illustration 1.11
gravure voir graveur
- plaque de parement 186, 187, 190
faïence 1, 2, 19, 124, 126, 203, 229, 231,
232, 239 ; perles 226 ; noyaux de pierre
sculptés 13, 226 ; noyau 225, 229, 235,
figure 9.2 ; glaçure 13, 126, 176, 225, 227,
236, figure 9.4 ; incrustation 225 ;
pendentifs 226 ; scarabée 225, 226 ;
chiffres ouchebti 225, 226 ; sphinx 225 ;
figurine 225 ; tuile 225 ; vase 225 feldspath
88, 90, 107
fibres voir végétation
silex 16, 18, 20, 48, 64, 66, 74, 77, 79,
81-3, 93, 96, 203-05, 237 ; voir
également herminette, hache,
perceuse, burin, ciseau, grattoir, burin,
couteau, percussion, floconnage,
grattoir et racloir
ancien 112
fritté 2, 124, 176, 215, 229, 231, 232, 236,
239
four 38, 39, 56, 58, 114 ; casting 21,
25, 34, 40, 44, 59, 104, 112, 142,
152, Figures 2.24, 4.5 ; groupe de 42 ;
fusion 36, 37, 40, 58, 114 ; projet
Figures 2.48, 2.49 ; fonderie 36, 37,
112, Figure 2.19
fournaise voir fourneau fourneau 7,
36, 38, figures 2.23,
2.24
grenat 203
Gerza 12
Gizeh 3, 15, 83, 94, 95, 106, 128, 130,
179, 180, 188
verre 229, 232, 235
gneiss 140, 197
or 43-5, 47, 63, 203
granit 1, 11, 12, 17, 20, 32, 42, 63, 69,
74, 78-86, 88-95, 107, 109-12, 114,
116, 117, 120, 126-30, 134-6, 140,
141, 145, 156, 170, 172, 176, 227,
236, 238, Figures 3.10, 3.12, 3.13,
3.15-18
graminées voir végétation (roseau commun, halpha
herbe et *Arundo donax*)
burin 74 ; silex 83, 90 ; silex 74, 94, 95
Grande Pyramide 15, 65, 80, 108, 179, 181,
184, 185, 191, 192, 197, 198
grauwacke 17, 81, 170, 172 ; voir également
schiste
broyeur 164 ; voir également rainure en grès
(caoutchouc) 85, 93, 157, 163, 203, 204 ; voir également
striation
gypse 2, 15, 17, 67, 69, 84, 104, 139,
141, 181, 185, 204, 236
demi-herbe (*Desmostachya bipinnata*) voir
végétation
marteau 43, 45, 46, 79, 83, 84, 88, 90,
96, 234, 238 ; pierre hémisphérique 43,
44, figures 2.29, 2.30 ; pierre sphérique
43, 44, 59, 131, Figure 2.27 ; voir
également maul et pilon
hache 1, 11, 18, 234, Figure 1.4
manche 118, 131, 144, 145, 150, 153,
172, 204-06, 212, 214, 217, 220,
221, 234, figures 8.15, 8.16
dureté voir Dureté Mohs et Vickers
Numéro de pyramide
bois franc voir bois
entête voir tendeur
Hiérakonpolis 3, 164,
pierre de corne voir chert
hyperventilation 39, 238
relief incisé (en-Creux) 65, 74, 81, 84,
93, 94, figures 3.5, 3.9, 3.12-17,
3.19, 3.20
étrier intérieur 191, 193
fer 12, 15, 18, 56, 57, 80, 96, 109, 236
ivoire 20, 82, 96, 140
pot 12, 81, 140-2, 149, figures 5.14,
5.15
bijoutier 7, Figure 2.22

Kahoun 3, 25, 30, 34, 40, 47, 52-6, 74, 86, 142, 180, 181, 188, 235

trait de scie 66

couteau 18, 83 ; chert 95; cuivre 25, 34; silex (denticulé) 19, 25, 27, 62, 75, 83, 95, 103, 234

genoux *voir* cuir

lapis-lazuli 16, 226

cuir 20, 45, 50-2 ; bronze courbé

lame coupante Figure 2.40 ; tours 91, 92, 175, figure 3.16 ; corde tressée 50 ; feuille 50 ; cuir brut 28 ; string 28, 33, 50, Figure 2.40

maroquinier Figures 2.39, 2.40 ligne de nivellement 179, 185

levier 67, 193, 235, 239

chaux 226, 229, 231

calcaire 2, 13, 17, 20, 31, 66, 77, 80, 82, 84, 108, 128, 140, 144, 161, 170, 183, 203 ; cristallin 11, 81, 143 ; dur 1, 13, 63, 64, 83, 88, 104, 111, 116, 117, 120, 126, 227 ; silicifié 81 ; doux 27, 63-5, 67, 69, 83, 84, 95, 96, 104, 111, 112, 116, 117, 120, 141, 154, 155, 192, 195, 234, 236, Figures 2.54, 2.55

lin 51, 82

bas-relief *voir* bas-relief

tête de massue 1, 13 ; de forme biconique 12 ;

en forme de poire 13 ; forme sphérique 13

malachite 12 ; *voir également* maillet à minerai 2, 31, 79, 83, 84, 92, 96,

55-7, 159, 234 ; usure circonférentielle 30 ; en forme de massue 30 ; calcaire 30 ; bois 30, 63, 86, figures 2.7, 2.8, 3.7, 3.8

marbre 17, 109, 159

maçon 13

maçonnerie Figures 1.2, 7.14-16 production de masse 2, 16, 19, 222, 237, 239 mastabas 13

maille 43, 75, 86, 172, 175 ; rainuré 75, 76 ; poignée 75, 76 ; pointu 79 ; sphérique 76, 79, 186 ; *voir également* marteau et pilon

merket 180

mica 88, 90

microlame 205

microlithe 48, 93, 95

moulin 121

Dureté Mohs 15, 74

mortier 161, 181, 185, 195, 198 moule 58, 238 ; *cire perdue* (cire perdue) 34,

35 ; poterie fermée 32, 34 ; pierre fermée 34 ; noyaux 113 ; faïence ouverte 226 ; sable horizontal ouvert 32, 34, 56, 113, 142, 235, figures 2.14, 2.15, 4.4 ; poterie ouverte 34, 235, 239 ; pierre ouverte Figure 2.18 ; ouvert vertical 12, 56, 112, figure 4.4 ; motif 56, 113 ; *voir également* poterie

boue 20, 40, 175, 196-8, 216 ; bloc (pour tenant des perles de pierre) 215, figure 8.17 ; brique 8, 13, 20, 183 ; noyaux 113 ; pâte à polir 91, 92 ; cadre de briqueterie en bois 215

momiforme *voir* sarcophage

natron 20, 226

aiguille 12, 47-9, 58, Figures 2.34, 2.36-8 nodule 74, 76, 79, 82, 83, 85, 90, 239,

Illustration 3.6

obélisque 12, 13, 15, 110, 179, 189, 190, Figures 3.1-3

obsidienne 81

minerai 12, 20, 37, 38, 116, 239

ostraca 7

étrier extérieur 191, 193

lambris de façade de palais Figure 6.1

palette 1

papyrus *voir* végétation

coller 212, 217, 220, 227, 229, 235

motif *voir* mouler

pendentif 203, 222

percussion-écaillage 83, 92

perforateur 11, 12

Phragmites communis *voir* végétation (roseau commun)

choisir 43, 79

pigments 124, 176, 225, 229, 231, 236, 239

broche 12, 48, 50, 58, figure 2.34

plan 31, 186, 187

fil à plomb 180 ; ligne 179, 180, Chiffres 7.2, 7.3

points 58, 93 ; lance 82

porphyre 17, 69, 74, 79, 107, 114, 126, 140, 141, 156

potier 7

poterie 20, 32, 35, 232 ; bol 39 ; creuset coussinets de maintien 41 ; *voir également* creuset et moule

- livre 43, 238; chert 76; dolérite 75,
76 ; silex 76, 86 ; voir également marteau et
maul
poudres *voirsable*
écaillage sous pression 27
pointe de projectile 11, 12, 234
poinçon 62, 80, 81 ; bronze 48-50, 56, 58 ;
chert 83, 90, 236, 238; cuivre 12, 49,
50, 56, 58; silex 19, 25, 75, 79, 86, 88,
89, 92, 93, 103, 141, 155, 156, 170,
172, 175, 236, figure 3.19 ; acier 63, 78
- pyramide 13, 43, 180, 192, 193, 237,
Figures 1.1, 1.2, 1.8, 1.9, 7.5-9, 7.15
- carrière 79, 82, 117, 197, 239
quartz 88, 90, 126-8, 141, 203, 204, 214,
220, 222, 229
cristaux de quartz *voirsable*
quartzite 11, 13, 90, 170, 172
- rampe 197, 198, Figure 7.19
cuir brut *voircuir*
rasoir 95
ocre rouge 179, 185-87, 190, 191
roseau *voirvégétation*
coupe-anche 7
tiges et ficelle 20, 21, 181, 187-93, 237,
239, figures 7.4, 7.10-13
corde 51, 107, 118, 120, 131, 136, 144,
152, 193, 212 ; fabrication de 52, 82
- caoutchouc *voigrès*
- affaissement *voircourbe caténaire*
sable 1, 12, 13, 20, 25, 80, 104, 108-10,
112, 117, 120, 121, 123, 126, 128,
129, 131, 133, 135, 142, 143, 149,
152, 155, 164, 174, 176, 225, 227,
232, 235, 238, 239 ; cristaux 85, 91,
96, 107, 110, 111, 121, 123, 124,
126, 128, 131, figure 4.2 ; poudres 1,
12, 21, 91, 124, 126, 128, 161, 174,
207, 212, 227, 239, figures 4.14-16,
4.18, 9.1 ; silice 82, 227, 238; silicose 128;
voir également poudres de sous-produits
et déchets poudres de forage et de sciage
grès 13, 83, 143, 161; dur
(gros grain) 63, 64, 93, 111, 131 ; dur
(gros grain) 111, 112, 116, Figure 3.19 ;
rouge 63, 64, 67, 69, 84, 236, figure
1.6 ; caoutchouc (broyeur) 12,
31, 44, 49, 90, 91, 96, 103, 118, 124,
157, 165, 175, 188, 191, 203, 214,
237, Figure 3.15
sarcophage 2, 12, 13, 19, 20, 32, 69, 81,
106, 107, 116, 124, 126-8, 130, 161,
169, 170, 172-6, 179, 235, 239,
figures 6.1-5 ; anthropoïde 170 ;
momiforme 170
vu 32, 83, 111, 239 ; bronze 116, 118 ;
cuivre 33, 116, 118; à plat 13, 32, 34,
42, 56, 58, 62, 67, 103, 106,
108, 109, 113, 117, 120, 121, 126, 129-
31, 136, 172, 175, 176, 231, 235, 237,
239, figures 2.1, 4.13, 4.21,
6.3 ; fer 32, 109, 116, 117; modèle 32;
dentelé 19, 25, 32, 56, 58, 62, 63, 66,
67, 69, 95, 103, 108, 113, 135, 234,
235, 236, figures 2.1, 2.59, 2.61 ; acier
32, 116, 118 ; deux travailleurs 129, 175,
Figure 4.21
schiste 1, 11, 79, 141 ; voir également grattoir à
grauwacke 19, 80 ; chert 83, 90, 95, 238; silex
62, 65, 75, 77, 90, 93, 96, 103, 104,
118, 141, 150, 155, 156, 161-3, 170,
238, figures 3.13, 3.14 ; acier 21, 77
sculptures 74, 79, 96
serpentine 17, 140, 141, 203, 214, 222
crantée *voirvu*
équerre 181
faucille 12, 19, 25, 75, 82, 103, 234
grattoir latéral 11, 234
silice *voirsable*
silicose *voirsable*
argent 43-5, 63, 203
ardoise 12, 13
traîneau 196, 197
fusion 25
bois tendre *voirbois*
soudure 39
roseau espagnol *voirvégétation (Arundo
donax)*
statuaire 1, 12, 15, 67, 81, 96, 106, 107,
196, figures 1.6, 2.56, 3.4
stéatite 12, 17, 67, 69, 203, 226, 231,
236
stèles 13, 81
Pyramide à degrés 8, 141 tailleur de pierre
voirmaçon maçon 80, 84, 179, 181, 183,
190,
193, 198
tabouret 208, 211, Figure 8.11
paille *voirvégétation*
civière Figure 1.2
stries 106, 107, 126, 130, 135, 140,

- 142, 143, 172, figures 4.17, 4.25, 4.26 ; concentrique, 126, 128 ; spirale 128; *voir également* rainure
- chaîne 51, 53, 118, 120, 145, 152, 179, 180, 181, 187-91, 193, 205-7, 213, 217, 220 ; fabrication de 52, Figure 2.43
- syénite 107
- corde de stabilisation de table 212, 216, Figure 8.12 ; à trois pattes 211, 212, 215, figures 8.12, 8.13 ; -haut 215, 216
- suif 33, 131
- Tell el-Amarna 3, 226, 232
- temple 197, 237, figures 1.7, 3.1, 7.16, 7.19
- Charpente *voir* arbre
- étain 38, 56, 57, 60, 62 pince 43, Figure 2.22
- scie à dents *voir* scie (dentelée) levier de garrot Figures 2.57-60 arbre 10, 20, 118 ; acacia 20; cendres 20; hêtre
- 20; cèdre 20; palmier dattier 51, 103; palmier dom 20; orme 20 ; chaux 20; chêne 20, 69; pin 20; sycomore 20; tamaris 20; if 20
- pointe triangulaire 11, 12 triface
- 92, figure 3.18 forêt tubulaire
- voir* perceuse (-tube) turquoise
- 226
- Foret hélicoïdale/inversé 17, 18, 55, 148, 150, 153-5, 165, 166, 235, 237, 239, figures 5.6-13, 5.16, 5.17, 5.19-22 ; sacs de sable 144, 147 ; arbre fourchu 142-5, 147, 150, 152 ; arbre principal (central) 144, 145, 147, 148, 150, 153 ; poids de pierre circulaire unique 144, 146-8, 150 ; filets à cordes 145, 152; deux poids en pierre 144, 146, 148, 152 ; *voir également* foreuse et perceuse
- Obélisque inachevé 76, 238, figures 3.2, 3.3
- vases 18, 45, 104, 107, 109, 140, 145, 149, 163, figures 5.14, 5.15 ; projet en forme de tonneau 142, 148, 150, 154, 155, 157, 161, 163-5, figures 5.23-39 ; *voir également* navire
- végétation 1, 10 ; *Arundo donax* (anche espagnole) 103; roseau commun (*Phragmites communis*) 10, 12, 38, 40, 103, 104, 169, 213, 235, 238 ; fibres de palmier dattier 51, 120; fibres de lin 20, 51, 120 ; demi-herbe (*Desmostachya bipinnata*) 20, 51, 120 ; papyrus 7, 10, 20, 51, 82, 120, 197, 198 ; paille 20
- Pied à coulisse 188
- cadre d'essai vertical 180, 190, 237, Illustration 7.3
- navire 47 ; en métal 47; de pierre 1, 2, 13, 15, 17, 19, 20, 44, 96, 103, 104, 116, 123, 128, 139, 142-50, 156, 159, 163, 164, 235, 236, figure 5.3 ; *voir également* vase
- Numéro de pyramide Vickers (VPN) 60, 62, Figures 2.52, 2.53
- VPN *voir* Vickers Pyramid Number Fente en forme de V 130
- déchets de poudres de forage et de sciage 19, 91, 175, 225, 231, 232, 235-7, figures 4.14-16, 4.18, 9.1 ; *voir également* sous-produits poudres et sable (poudres)
- coin 56, 161; cuivre 56, 58, 62, 67 avec 41, figure 2.26 ; *voir également* poterie (supports de creuset) bois 1-3, 8, 20, 27-30, 53, 67, 69, 82, 84, 96, 169, 180, 187, 234, 235
- coupe de bois *voir* ciseau (travail du bois) menuisier 28
- fil 52; torsion de 52, Figure 2.43
- Support en Y 30, 235, 239



House Of Books
Pr-Mdjat