



Mesures de la terre et des briques dans les activités de construction en Mésopotamie ancienne à l'âge du Bronze

Measurements of earth and bricks linked to building activities in Ancient Mesopotamia during the Bronze Age

La construction en Mésopotamie a utilisé le plus souvent des briques (séchées au soleil ou cuites au four). La gestion des opérations de construction faisait intervenir les notions de volumes de matériau calculés à partir de la surface générale du bâtiment. Du volume des murs, on obtenait le nombre de briques nécessaires. Plus complexe est le calcul du nombre de journées de travail des ouvriers nécessaire pour le transport des briques, chaque chargement varie en effet en fonction du volume de ces briques. La brique peut en effet varier dans ses trois dimensions mais également dans ses proportions relatives, son volume et donc sa masse. Pour les calculs, la charge de travail journalière demandée aux ouvriers non spécialisés, appelée *iškarum* en akkadien, était utilisée, mais également des coefficients permettant de convertir les volumes en nombre de briques, de calculer le nombre de briques dans un chargement individuel ou le nombre de briques nécessaire pour couvrir une surface.

Mots clefs : construction, briques, tâches journalières, calculs mathématiques, scribes, Mésopotamie ancienne.

Bricks (sun-dried or kiln-fired) were the most common building material in Mesopotamia. The management of construction operations involved knowledge of the volumes of these materials based on calculating the overall surface of buildings while the number of bricks depended on the volume of the walls. More complex was calculating the number of man-days needed to transport the bricks, as each load varied according to their volume. Bricks could vary not only in terms of their three dimensions, but also in keeping with their relative proportions, volume, and mass. These calculations are based on the daily workload required of unskilled workers, called *iškarum* in Akkadian, as well as on the coefficients for converting volumes into numbers of bricks, on the number of bricks of individual loads, and on the number needed to cover a surface.

Keywords: construction, brick, daily tasks, mathematical calculations, scribes, Ancient Mesopotamia.

Introduction

La Mésopotamie – comprise ici comme la plaine alluviale du Tigre et de l'Euphrate de la depuis la région de Bagdad jusqu'au Chatt al-Arab¹ – a essentiellement utilisé aux âges du Bronze et du Fer (entre 3500 et 300 av. J.-C.) pour l'architecture le matériau terre, et plus particulièrement la brique, comme principal matériau de construction. Des villes entières, parmi les plus vastes de leur époque, ont été entièrement construites en briques séchées au soleil ou cuites au four.

L'émergence des premières villes puis du pouvoir royal a entraîné la mise en place de toute une administration de la construction publique. Celle-ci reposait non seulement sur une standardisation des unités de mesure, en particulier pour les distances et les volumes, mais également sur celle des tâches journalières demandées aux ouvriers non spécialisés mobilisés pour les travaux de construction. Les calculs des scribes pour l'évaluation préalable de la charge de travail que va représenter une construction, et donc pour l'évaluation des rations à prévoir, ainsi que les textes d'apprentissage qui illustrent leur formation, nous permettent de mieux comprendre les relations complexes qu'entretenaient dans la pensée mésopotamienne les notions de distance, de volume et de poids.

La brique : un élément parallélépipédique préfabriqué et standardisé

Du modelage à la recherche de pans rectilignes : pressage, découpage

Pour une construction maçonnée, il s'agit de disposer d'éléments préfabriqués qui vont pouvoir être assemblés sur le mur à l'aide d'un liant : en général un mortier de terre.

On a recherché tout d'abord à obtenir des éléments d'épaisseur constante, et c'est là l'avantage de la terre par rapport à la pierre². On a également très vite cherché à obtenir des éléments de forme allongée aux bords rectilignes

afin de faciliter la pose en panneresses (briques disposées longitudinalement : fig. 1) et d'obtenir des faces de mur régulières. Le passage de l'architecture d'abord circulaire à une architecture rectangulaire qui débute au Néolithique précéramique, au PPNA/PPNB (vers 8500-8000 av. J.-C.: Cauvin 1978: 43-44, Sauvage 2009: 197) implique la maîtrise de la technique de la besace (Aurenche 1977: 36; 1981: 119-121), c'est-à-dire du chaînage alterné des assises de deux murs se rencontrant à angle droit (fig. 2): deux murs externes (besace d'angle) ou un mur externe et un mur de refend (besace en T). Afin de pouvoir décaler les joints d'une assise à l'autre, il importe d'utiliser des éléments de maçonnerie plus longs que larges. Plus tard, au II^e millénaire av. J.-C. avec l'utilisation de briques carrées, c'est l'utilisation concomitante de demi-briques qui permet cette alternance des joints (Sauvage 1998a: 63).

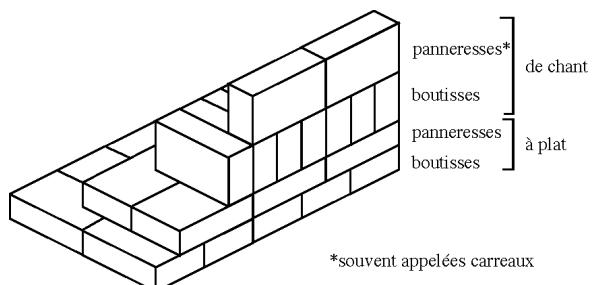


Figure 1. Panneresses et boutisses (dessin M. Sauvage).

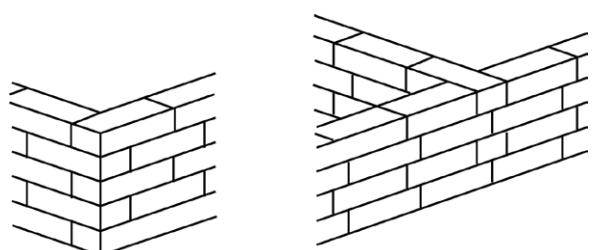


Figure. 2. Besace d'angle et besace en T (dessin S. G.)

1. Pour les variations du tracé de la côte et des deux fleuves aux périodes anciennes voir Geyer et Sauvage 2020: 8-13.
 2. Sur les débuts de l'architecture de terre au Proche-Orient on pourra consulter : Cauvin 1978: 23-63; Aurenche 1981 et 1993; Sauvage 1998a: 87-107; 2009. Les premières briques modelées à la main, apparaissent au Proche-Orient lors du Néolithique précéramique A (PPNA), vers 9000 av. J.-C. (Sauvage 2009: 192). Sur la notion de terre-à-bâtir, le mélange utilisé pour l'architecture de terre, voir Aurenche 1981: 53-54.

Aux briques modelées à la main, on va vite, vers 6000 avant J.-C., préférer des briques confectionnées par pressage entre deux planches, comme à Oueili, Iraq (Forest 1987: 24) ou à Djaffarabad, Iran (Dollfus 1975: 14-15) ou même découpées. O. Daune-Le Brun (2003: 155-156) décrit cette dernière technique encore en usage, à Chypre. Au vu du plan publié (fig. 3), on peut penser que les briques de Cafer Höyük (PPNB, vers 8000 av. J.-C.)

étaient découpées et non moulées comme le pensaient les fouilleurs (Cauvin 1989: 76) car, si elles présentent des bords bien rectilignes et une largeur constante, leur longueur varie considérablement.

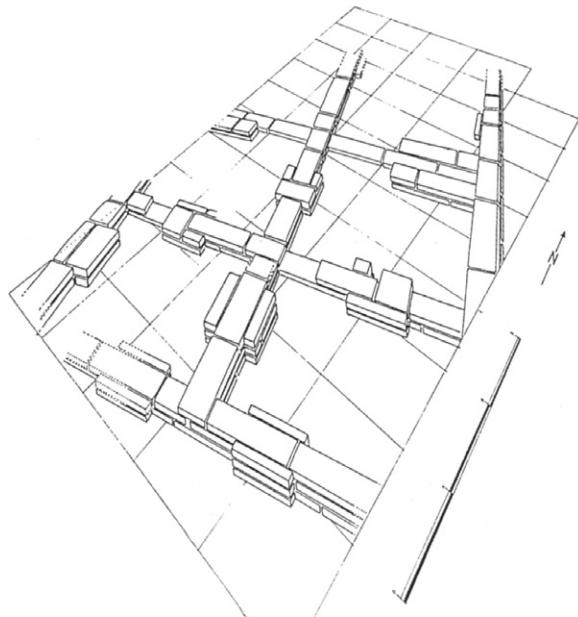


Figure 3. Maison néolithique à architecture rectangulaire de briques moulées ou découpées, avec emplois de contreforts internes et externes, Cafer Höyük (Turquie), vers 8000 av. J.-C. (d'après Molist et Cauvin 1991 : 94).

Le moulage : reproduction standardisée et en série d'un parallélépipède rectangle rectiligne

Cette recherche d'une production d'éléments de forme parallélépipédique rectangle de dimension standardisée amène à l'invention du moule à brique (Aurenche 1981: 60-70; Sauvage 1998a: 90-93 ; voir également Baudouin 2020 ou Choi-met 2020). Pour le Proche-Orient ancien, les premières attestations de moulage de briques dateraient, selon les fouilleurs, du PPNB récent, soit vers 7500-7000 av. J.-C. (Sauvage 1998a: 91), mais on peut penser qu'il s'agissait là en fait de briques découpées et non moulées et que les premières attestations sûres de moulage des briques dateraient alors de l'époque de Samarra, vers 6500 av. J.-C.

Il s'agit, dans la technique de départ la plus utilisée ensuite, d'un simple cadre de bois rectangulaire sans fond dans lequel la terre est tassée (fig. 4). On racle la surface, ce qui permet d'obtenir des briques d'épaisseur constante, avant de retirer le moule par le haut et de laisser sécher la brique au soleil. Ces briques séchées au soleil peuvent ensuite être utilisées telles quelles mais elles peuvent également être passées au four pour en faire des briques cuites. Cette innovation apparaît en Mésopotamie à l'époque d'Uruk (vers 3500-3000 av. J.-C.) au départ pour la confection d'installations liées à l'eau : bassins, canalisations (Sauvage 1998a: 23-24). Le procédé du moulage



Figure 4. Moulage des briques à Tell Leilan (Syrie), années 1990 (cliché M. Sauvage).

permet, dès les plus hautes époques, d'obtenir une production standardisée et de masse (pour un ordre de grandeur d'ordre des quantités, voir ci-après).

La notion de module: appareils complexes avec des briques de ratio 1/2 ou 1/2/3, des demies et quarts de briques

Avec l'augmentation de la taille des habitations au Néolithique, il devint nécessaire de consolider les murs, en particulier les murs extérieurs d'un seul tenant (voir la fig. 3). Plusieurs solutions ont été adoptées au début du Chalcolithique (période d'Obeid 1-3, vers 6000-5000 av. J.-C. avec, par exemple, la conception de plan en grille multipliant les besaces en T (fig. 5) ou avec l'usage des contreforts intérieurs ou extérieurs (fig. 6).

Au Chalcolithique final (Obeid 4-5 ; vers 5000-4000 av. J.-C.), avec l'émergence d'une architecture monumentale à décoration ostentatoire, dotée de façades à pilastres et redans, on relève l'utilisation d'appareils complexes associant panneresses, boutisses, demies et quarts de briques. Sur le site de Tépé Gawra (niveau XII: Tobler 1950: 33-35), des briques miniatures cuites ont été découvertes, elles correspondent en format réduit aux différents types de briques qui ont été utilisés pour la confection des façades des « temples » et pourraient selon E. Baudouin (2022) avoir été utilisées pour l'apprentissage des maçons (fig. 7). Pour réaliser ces décors, les modules des briques se réduisent progressivement en longueur afin d'atteindre en moyenne une quarantaine de cen-

timètres et la longueur devient systématiquement le double de la largeur : une brique disposée en panneresse correspond alors à deux briques disposées en boutisses.

À la fin du III^e millénaire (époque d'Ur III), la confection d'appareils associant des briques de chant et des briques à plat (Sauvage 1998a: 61) incite désormais à fabriquer des briques dont la longueur est égale à une fois et demie la largeur et dont la largeur fait deux fois l'épaisseur (avec un module donc de $1 \times 2 \times 3$)³.

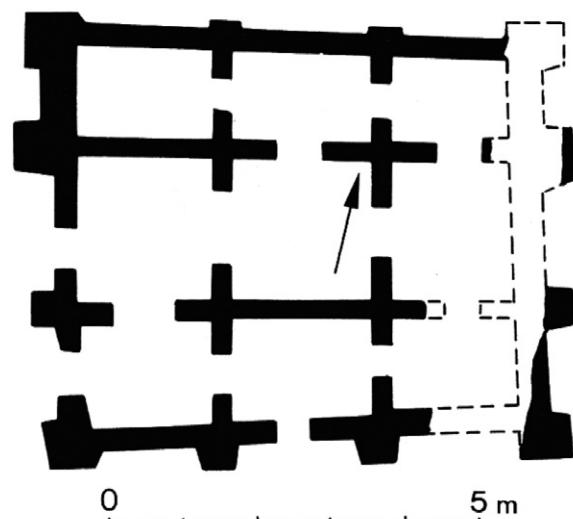


Figure 5. Plan en grille et à contreforts d'angle, Choga Mami (Iraq), vers 5500 av. J.-C. (d'après Oates 1969: pl. XXIV).

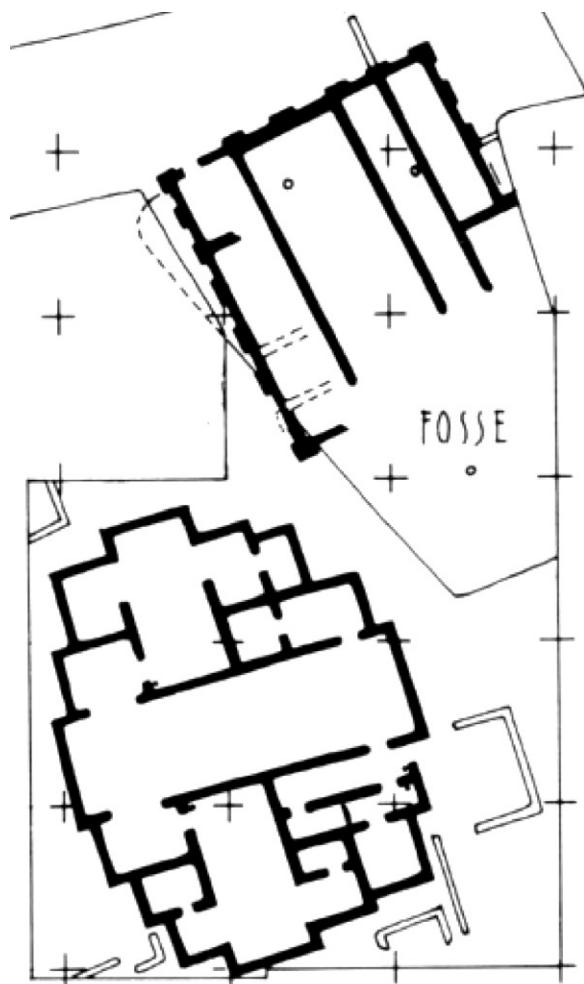


Figure 6. Usage des contreforts extérieurs ou de murs externes à décrochements multiples à Kheit Qasim III (Iraq), vers 5300-4700 av. J.-C. (d'après Forest-Foucault 1980: fig. 1).

3. Voir également ci-après l'intérêt qu'il y avait à disposer pour les calculs de dimensions de briques correspondant à des fractions de la coudée, l'unité de mesure de référence.

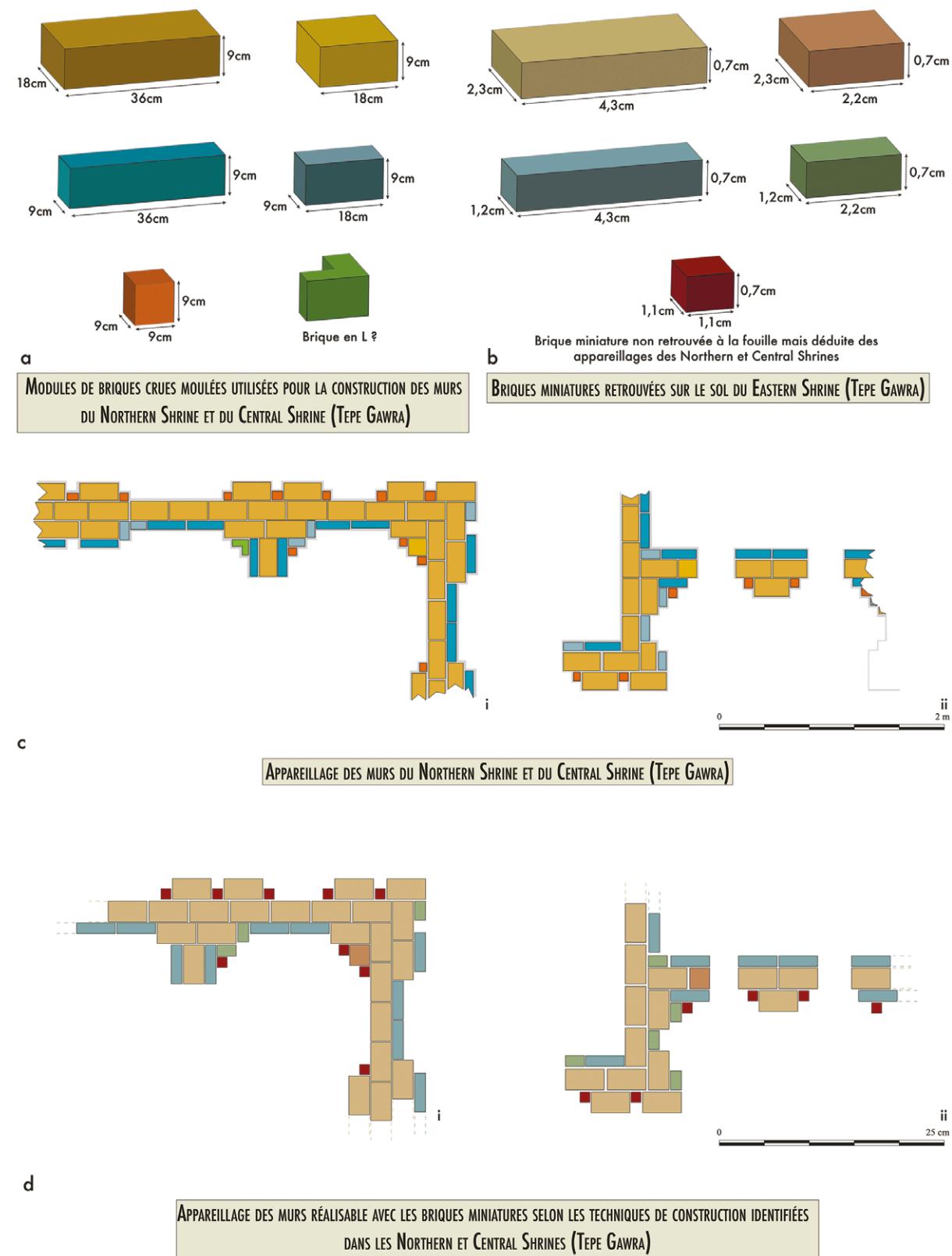


Figure 7. Appareil complexe et briques miniatures à Tepe Gawra (Irak), vers 4000 av. J.-C. (d'après Baudouin 2022).

La construction mésopotamienne : une question de volumes

L'ampleur des programmes implique une gestion administrative et prévisionnelle de la construction publique

C'est également à l'époque de la Troisième dynastie d'Ur vers 2100 av. J.-C. que l'on commence à disposer de données sur la gestion de la construction publique (c'est-à-dire royale) mésopotamienne notamment grâce à l'abondante documentation fournie par les tablettes d'argile à écriture cunéiforme⁴.

Avec l'apparition à cette période des premières ziggurats, élément caractéristique de l'architecture religieuse mésopotamienne (Sauvage 1998b; 2011; 2015 et 2020; Quenet 2016), et de leurs complexes religieux, ce sont des programmes de construction qui concernent la fabrication, le transport et la pose de millions de briques. L'ampleur de ces programmes de construction va de pair avec la mise en place d'une gestion administrative et prévisionnelle de la construction royale.

La standardisation des unités de mesure, notamment des distances, des volumes et des capacités

La première moitié du III^e millénaire av. J.-C. est celle des cités-États sumériennes ; c'est avec l'émergence d'un pouvoir étatique unique sur l'ensemble de la plaine avec l'empire d'Akkad (vers 2400-2200 av. J.-C.) que la nécessité d'unités de mesures communes commence à se faire sentir. Avec l'empire d'Akkad débutent en effet les premières mises en place d'un système standardisé des unités de mesure (distances, surface, volumes, capacités et masses, fig. 8) commun à l'ensemble de la plaine mésopotamienne (Powell 1987-1990: 458). Ce fut, semble-t-il, un processus progressif qui a concerné tout d'abord les unités de mesure de distance. Ur-Nammu, le premier souverain de la Troisième dynastie d'Ur (r. 2111-2095 av. J.-C.) semble l'avoir achevé à l'extrême fin du III^e millénaire av. J.-C. puisqu'il indique dans le prologue de son code de loi avoir procédé à la standardisation des unités de mesure de capacité (Roth 1995: 13-22; Sallaberger 2022: 192).

Ce système repose sur des multiples ou fracti ons du système hexagésimal (ou sexagésimal) mésopotamien qui, à la différence de notre système décimal, en base 10 donc, fonctionne en base 60 ; en fait plutôt dans une association de base 6 et de base 10 (Proust 2022a: 200). On le trouve encore de nos jours par exemple dans la mesure du temps ou celle des angles.

Nous connaissons, grâce à plusieurs étalons gravés, comme par exemple, la statue conservée au musée du Louvre du Gudea F dit « l'architecte à la règle » (AO3: Heuzey 1902: n° 46), la valeur de la « coudée » (sumérien *kuš*, akkadien *ammatu*)⁵ qui était de 50 cm et nous pouvons donc transcrire dans notre système métrique les valeurs des unités de mesure des distances, des surfaces et des volumes (et donc aussi des capacités). La valeur de la mine (sum. *mana*, akk. *manū*) nous est également connue, elle équivalait à peu près à une livre (500 g) et nous fournit ici aussi les équivalences pour les masses.

Sar_s, sar_v et sar_b : unités de mesure des surfaces et des volumes mais également de compte pour les briques

Les noms des multiples d'unités de mesure sont les mêmes pour les surfaces et volumes et c'est souvent le contexte du texte qui permet de les différentier.

À la suite d'E. Robson (1999), nous utilisons des indices pour différencier les unités de surface, volume et briques : par ex. sar_s, sar_v et sar_b, pour le sar.

Notons que le rapport entre un sar de surface (1 *ninda* × 1 *ninda*) correspond bien à notre logique alors que le sar de volume (1 *ninda* × 1 *ninda* × 1 *kuš*) est, lui, différent de notre système où nous attendrions un *ninda*³ (1 *ninda* × 1 *ninda* × 1 *ninda*).

Notons également que les mêmes termes sont utilisés pour la quantification des briques et que, là encore, c'est le contexte qui permet de faire la différence. Pour les briques cependant, les unités de mesure ne font plus référence à des volumes mais à des unités : un sar de briques est invariablement égal à 720 briques quel que soit le volume des briques (Naugebauer and Sachs 1945: 94; Powell 1982: 117). Il s'ensuit que le volume d'un sar de briques varie en fonction du type de briques concerné (voir plus bas pour une discussion sur les différents types de briques).

4. La Database on Neo-Sumerian Texts (BDTNS): <http://bdtns.filol.csic.es/index.php?p=about&anc=project#project>, recense pour cette époque quelque 97 000 tablettes d'argile à écriture cunéiforme écrites en Sumérien (10 000 d'entre elles sont encore inédites).

5. Par convention, afin de différencier les deux langues, on note les transcriptions du sumérien (sum.) en romain et celles de l'akkadien (akk.) *en italiques*.

| | |
|--|--|
| Masses | Capacité |
| 1 še (akk. <i>uṭṭetu</i> « grain ») $\approx 0,046$ g | 1 gin (akk. <i>šiqlu</i> « sicle ») $\approx 16,66$ ml |
| 1 gin (akk. <i>šiqlu</i> « sicle ») = 180 še $\approx 8,33$ g | 1 sila (akk. <i>qû</i> « litre ») = 60 gin ≈ 1 l |
| 1 mana (akk. <i>manû</i> « mine ») = 60 gin ≈ 500 g | 1 ban (akk. <i>sūtu</i>) = 10 sila ≈ 10 l |
| 1 gu (akk. <i>biltu</i> « talent ») = 60 mana ≈ 30 kg | 1 bariga (akk. <i>pânu</i>) = 6 ban ≈ 60 l |
| | 1 gur (akk. <i>kurru</i>) = 5 bariga ≈ 300 l |
| Distance | Briques |
| 1 še (akk. <i>uṭṭetu</i> « grain ») $\approx 0,28$ cm | 1 gin_b = 12 briques |
| 1 šusi (akk. <i>ubânu</i> « doigt ») = 6 še $\approx 1,66$ cm | 1 sar_b = 60 gin_b = 720 briques |
| 1 kuš (akk. <i>ammatu</i> « coudée ») = 30 šusi ≈ 50 cm | 1 iku_b = 100 sar_b = 72 000 briques |
| 1 gi (akk. <i>qanû</i> « canne ») = 6 kuš ≈ 3 m | 1 $eše_b$ = 600 sar_b = 432 000 briques |
| 1 ninda (akk. <i>nindânu</i> « perche ») = 12 kuš ≈ 6 m | 1 bur_b = 1 800 sar_b = 1 296 000 briques |
| 1 eše (akk. <i>ašlu</i> « corde ») = 10 ninda ≈ 60 m | |
| 1 danna (akk. <i>bêru</i> « stade ») = 180 eše $\approx 10,8$ km | |
| Surface | 1 sar_s = 1 ninda \times 1 ninda (aires, surfaces) |
| 1 sar_s (akk. <i>mušaru</i>) ≈ 36 m ² (0,0036 ha) | 1 sar_v = 1 ninda \times 1 ninda \times 1 kuš (volumes) |
| 1 kuš _s (akk. <i>kû</i>) = 100 sar_s $\approx 0,36$ ha | 1 sar_b = 720 briques (pour les comptes de briques, indépendamment des dimensions) |
| 1 bur_s (akk. <i>buru</i>) = 18 iku_s $\approx 6,48$ ha | |
| Volume | |
| 1 še _v ≈ 1666 cm ³ | |
| 1 gin_v = 180 še _v $\approx 0,3$ m ³ | |
| 1 sar_v (akk. <i>mušaru</i>) = 60 gin ≈ 18 m ³ | |
| 1 sar_v = 5:00:00 [= 18 000] sila (≈ 180 hl) | |
| 1 iku_v (akk. <i>kû</i>) = 100 sar_v $\approx 1 800$ m ³ | |

Figure 8. Les principales unités de mesure mésopotamiennes, termes en sumérien, akk. = akkadien ; entre guillemets sont indiqués les termes français les plus proches, soit du sens, soit de la mesure (M. Sauvage).

La gestion prévisionnelle du travail : les tâches journalières

La gestion prévisionnelle du travail de construction consistait, hormis le calcul de l'apport nécessaire en matériaux de construction, à chercher à déterminer le nombre de journées de travail nécessaires pour des ouvriers non spécialisés. Pour la fin du III^e millénaire et le début du II^e millénaire av. J.-C. en Mésopotamie, les ouvriers non spécialisés étaient en général rétribués en ration d'orge, mais on trouve également des calculs de paye en argent dans les textes mathématiques (Waetzoldt 1987; Proust 2022a: 227 et suivantes). Les ouvriers ou artisans spécialisés (maçons et

maîtres-maçons, maîtres d'œuvre et architectes, notamment: Wiseman 1972; Neumann 1996), rétribués autrement, apparaissent moins souvent sur les textes de gestion de la construction.

Les tâches journalières (akk. *iškarum*) qui pouvaient être demandées aux ouvriers non spécialisés étaient standardisées (fig. 9 : Robson 1999). Pour les travaux de construction, elles étaient, dans nombre de cas, calculées en volume : volume de terre à excaver, de terre à transporter, de terre à mélanger⁶. Pour le roseau, abondamment utilisé

6. Le matériau de construction de base, la terre-à-bâtir, qui servait à confectionner les briques, les murs en terre

| Tâches | Quotas journaliers (<i>iskarum</i>) | | Nombres de jours de travail par sar de volume ou de surface |
|--------------------------------------|---|--|---|
| | En volume ou surface | En m ² ou m ³ | |
| Empiler les briques | 4 sar _v 30 še _v | 1,13 m ³ | 14,4 jours |
| Construire un barrage ? | 5 1/3 gin _v | 1,53 m ³ | 11,25 jours |
| Construire un mur de terre | 3 2/3 gin _v 15 še _v | 1,125 m ³ | 16 jours |
| Construire une levée de terre | 10 gin _v | 3 m ³ 360 m ² | 6 jours |
| Couper des roseaux | 10 gin _v 10 gin _a | 3 m ³ | 6 jours |
| Creuser à moins d'une coudée | 20 gin _v | 6 m ³ | 3 jours |
| Creuser à plus d'une coudée | 10 gin _v | 3 m ³ | 6 jours |
| Démolir un mur | 15 gin _v ou 20 gin _v | 4 ou 5 m ³ | 4 ou 3 jours |
| Mélanger de la terre | 10 gin _v | 3m ³ | 6 jours |
| Mouler des briques (coup d'eau ?) | 25 gin _v | 7,5 m ³ (2161 briques de type 2, 809 de type 8) | 2,40 jours |
| Mouler des briques (coup de sable ?) | 20 gin _v | 6 m ³ (1729 briques de type 2, 647 de type 8) | 3 jours |

Figure 9. Quelques exemples de quotas de tâches journalières (*iškarum*) pour les ouvriers non spécialisés (d'après Robson 1999).

pour la construction⁷, la quantité à couper ou à tresser pour faire des nattes pouvait être calculée d'abord en surface, mais la quantité à transporter en volume (Robson 1999: 109, 139; Heimpel 2022). Pour les murs, la quantité à enduire était calculée en surface, et le total transcrit en volume de terre à préparer (Robson 1999: 70-71).

Les calculs du scribe : formation et pratique

Textes mathématiques et textes administratifs

Les valeurs de l'*iškarum*, la tâche journalière, nous sont connues tout d'abord par les textes administratifs (Robson 1999). La plus grande partie d'entre ceux qui nous sont parvenus datent

de l'époque de la Troisième dynastie d'Ur, à l'extrême fin du III^e millénaire av. J.-C., mais certains exemples de l'époque d'Akkad (deuxième moitié du III^e millénaire : vers 2400-2200 av. J.-C.) et d'autres de l'époque paléo-babylonienne (vers 2000-1600 av. J.-C.) montrent que la même pratique a perduré pendant près d'un millénaire en Mésopotamie centrale et méridionale. Le même système et les mêmes valeurs sont également documentés par les textes d'apprentissage des scribes qui sont fréquemment qualifiés de textes mathématiques (Proust 2007). La majorité date de la période paléo-babylonienne, mais, là encore, avec quelques exemples antérieurs qui montrent que le système s'est mis en place au moins dans la deuxième moitié du III^e millénaire av. J.-C. (Robson 1999: 192; Heimpel 2022: 168-169).

Ces différents types de textes nous renseignent non seulement sur des ordres de grandeur mais également sur les modes de calcul. Concernant les ordres de grandeur, les comparaisons avec le matériel archéologique et les données ethnographiques montrent que les chiffres choisis par les scribes pour les textes d'apprentissage étaient réalistes: les charges de travail correspondent à ce que l'on pouvait trouver dans les mêmes régions pour des pratiques de construction pré-industrielles; les dimensions des murs ou des bâtiments correspondent à ce que l'on connaît de l'architec-

modelée (bauge), les mortiers ou les enduits, consistait en un mélange de terre argileuse, d'eau et d'un dégraissant, souvent de la paille hachée. Ce mélange était malaxé à plusieurs reprises (piétiné ou avec des houes) et pouvait être laissé à reposer quelques jours avant l'emploi (Doat 1979: 111-117; Aurenc 1981: 53-54).

7. On intercalait des lits de roseau entre les assises des murs et utilisait des lits de roseau ou des nattes pour la confection des planchers et toits enduits de terre (Sauvage 1998a: 54-55; 2015b: 456-249).

ture mésopotamienne grâce aux fouilles archéologiques. Les quantités sont également cohérentes : on a par exemple pu calculer le nombre de briques nécessaire à la construction de la première terrasse de la ziggurat d'Ur (Sauvage 1998b: 56-57), les totaux de briques crues et cuites sont comparables à ceux fournis par les textes : près de 7 millions de briques crues et 700 000 briques cuites pour la première terrasse de la ziggurat d'Ur à comparer avec les 14 millions de briques crues et 7,5 millions de briques cuites des temples de Šara et Ninnura à Umma (Robson 1999: 188).

Calcul du volume total de la construction, du volume des murs ou des piles, du nombre de briques avec joints

Les textes d'apprentissage en particulier, nous renseignent également sur les modes de calcul dans le domaine de la construction.

Un exemple de texte d'apprentissage concernant des travaux de terrassement (YBC 4657 #1 : Naugebauer et Sachs 1945, text G; Proust 2022: 227, ma traduction en français) :

Une tranchée. 5 ninda sa longueur, 1 ½ ninda sa largeur, ½ ninda sa profondeur. 10 gin est le volume à traiter (par ouvrier et par jour). 6 še (d'argent) [la paye par ouvrier et par jour]
 La surface (« la base »), le volume, le nombre d'ouvriers et l'argent [des payes] combien ?
 ½ la surface, 45 le volume, $4 \times 60 + 30$ [ouvriers], 9 gin l'argent [pour les payes]

Ainsi la notion de volume reste fondamentale dans ce domaine ; elle est directement liée à la charge de travail journalière qui peut être demandée à un ouvrier.

Pour leurs calculs, les scribes considéraient qu'un tiers du volume d'une construction était occupé par les murs (Robson 1999: 69). Cet ordre de grandeur peut être confirmée par l'étude des plans des habitations fouillées pour cette époque (Battini-Villard 1999: 161-163). Pour les murs de briques, ils considéraient également qu'1/6 du vo-

lume était constitué de mortier, les 5/6 restants de briques (Robson 1999: 67-69).

Calcul du transport des matériaux : le rapport entre le volume, le chargement et la distance

Les calculs de transport des matériaux dépendent non seulement de la distance mais également de la masse de matériaux à transporter : il s'agit d'un rapport entre le volume total à transporter, la masse volumique du matériau concerné, le chargement maximal qui pouvait être demandé par voyage à un ouvrier (homme ou femme) et enfin la distance totale sur laquelle les matériaux devaient être transportés. Les calculs relatifs au chargement (en général pour des femmes, il semble avoir été égal à 25 kg: Heimpel 2022: 151, 169) dépendent de la masse volumique du matériau transporté, rapporté au poids d'un panier de terre (fig. 10 : Robson 1999: 92). De ce point de vue, c'est l'eau qui est la moins rentable à déplacer, la confection de la terre à bâtir (mortier, enduits ou briques) était donc en général faite près d'un point d'eau et l'on trouve très peu de textes relatifs au transport de l'eau pour la construction.

Problème spécifique de la brique : plusieurs types de format et donc plusieurs types de volumes

Les briques posent des problèmes très spécifiques de deux ordres. Tout d'abord, selon qu'elles sont encore humides (et transportées de la zone de moulage vers les zones de séchage), sèches ou cuites, leur masse volumique varie (Robson 1999: 62-65 et Heimpel 2022: 151-153.) Par conséquent, le nombre de briques qui peuvent être transportées en un chargement devrait varier mais les textes de la pratique ne spécifient souvent pas le type de brique transporté ; je ne suis donc pas ici l'avis de W. Heimpel (2022: 153) qui pense que les scribes prenaient en compte l'état de séchage des briques pour le calcul des quantités à transporter et préfère penser (comme Middeke-Conlin 2022)

| Matériaux transportés | Volume d'un chargement | Vol. transporté par jour sur un <i>ninda</i> = 6 m) | | Volume transporté par jour sur 30 <i>ninda</i> = 180 m | Équivalent en panier de terre |
|-----------------------|------------------------------|---|--|--|-------------------------------|
| | | Volume en <i>se_v</i> | Volume en <i>sar_v</i> en m ³ (±) | | |
| Terre | 6 2/3 <i>se_v</i> | 1 2/3 <i>sar_v</i> | 30 | 1 m ³ | 1 |
| Briques | 12 ½ <i>se_v</i> | 3 <i>sar_v</i> 7 ½ <i>gin_v</i> | 56,25 | 1,8 m ³ | 1 7/8 |
| Paille | 13 1/3 <i>se_v</i> | 3 1/3 <i>sar_v</i> | 60 | 2 m ³ | 2 |
| Roseaux | 20 <i>se_v</i> | 5 <i>sar_v</i> | 90 | 3 m ³ | 3 |
| Eau | 5 1/3 <i>se_v</i> | 1 1/3 <i>sar_v</i> | 24 (= 24 000 l) | 0,78 m ³ (800 l) | 4/5 |

Figure 10. Quelques exemples de quotas de tâches journalières (*iškarum*) pour le transport des matériaux de construction (d'après Robson 1999).

qu'ils n'utilisaient comme référence qu'un seul état : la brique séchée au soleil.

La deuxième particularité est que la brique était décomptée à l'unité et non au volume mais qu'il coexistait plusieurs types de briques de dimensions différentes et donc de volume et de masse différentes. On en dénombre, par les textes administratifs et surtout mathématiques, une

dizaine (fig. 11; Powell 1982: 119-120; Sauvage 1998a: 127; Robson 1999: 72), dont les plus fréquemment utilisées pour la fin du III^e et la première moitié du II^e millénaire av. J.-C. en Mésopotamie centrale et méridionale (fig. 12 et 13; Sauvage 1998a: 125-139; 1998b: 55) étaient les briques crues rectangulaires d'une demie coudée sur un tiers ($25 \times 16/17$ cm) ou de 3/5 sur 2/5 de coudée

| Types de briques (Powell 1982) | Dim. en šusi | Dim. en kuš | Dim. en cm |
|--------------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1 | $10 \times 10 \times 6$ | $1/3 \times 1/3 \times 1/10$ | $16,66 \times 16,66 \times 10$ |
| 2 | $15 \times 10 \times 5$ | $1/2 \times 1/3 \times 1/12$ | $25 \times 16,66 \times 8,33$ |
| 3 | $20 \times 10 \times 5$ | $2/3 \times 1/3 \times 1/12$ | $33 \times 16,66 \times 8,33$ |
| 4 | $18 \times 12 \times 5$ | $3/5 \times 2/5 \times 1/12$ | $30 \times 20 \times 8,33$ |
| 5 | $15 \times 15 \times 5$ | $1/2 \times 1/2 \times 1/12$ | $25 \times 25 \times 8,33$ |
| 6 | $20 \times 10 \times 6$ | $2/3 \times 1/3 \times 1/10$ | $33 \times 16,66 \times 10$ |
| 7 | $18 \times 18 \times 5$ | $3/5 \times 3/5 \times 1/12$ | $30 \times 30 \times 8,33$ |
| 8 | $20 \times 20 \times 5$ | $2/3 \times 2/3 \times 1/12$ | $33 \times 33 \times 8,33$ |
| 8a | $30 \times 15 \times 5$ | $1 \times 1/2 \times 1/12$ | $50 \times 25 \times 8,33$ |
| 9 | $20 \times 20 \times 6$ | $2/3 \times 2/3 \times 1/10$ | $33 \times 33 \times 10$ |
| 10 | $24 \times 24 \times 5$ | $4/5 \times 4/5 \times 1/12$ | $40 \times 40 \times 8,33$ |
| 11 | $30 \times 30 \times 5$ | $1 \times 1 \times 1/12$ | $50 \times 50 \times 8,33$ |
| 12 | $30 \times 30 \times 6$ | $1 \times 1 \times 1/10$ | $50 \times 50 \times 10$ |

Noter que 1 peut être considéré comme le quart de brique de 9 ; 3 comme la demi-brique de 8 ; 5 comme le quart de 11 ; 6 comme la demi-brique de 9 ; 8a comme la demi-brique de 11.

Noter également que 3 et 6, 8 et 9, 11 et 12 ont les mêmes dimensions à l'exception de l'épaisseur (5 et 6 šusi)

Figure 11. Les différents types de briques attestés dans les textes mésopotamiens (d'après Powell 1982: 119).

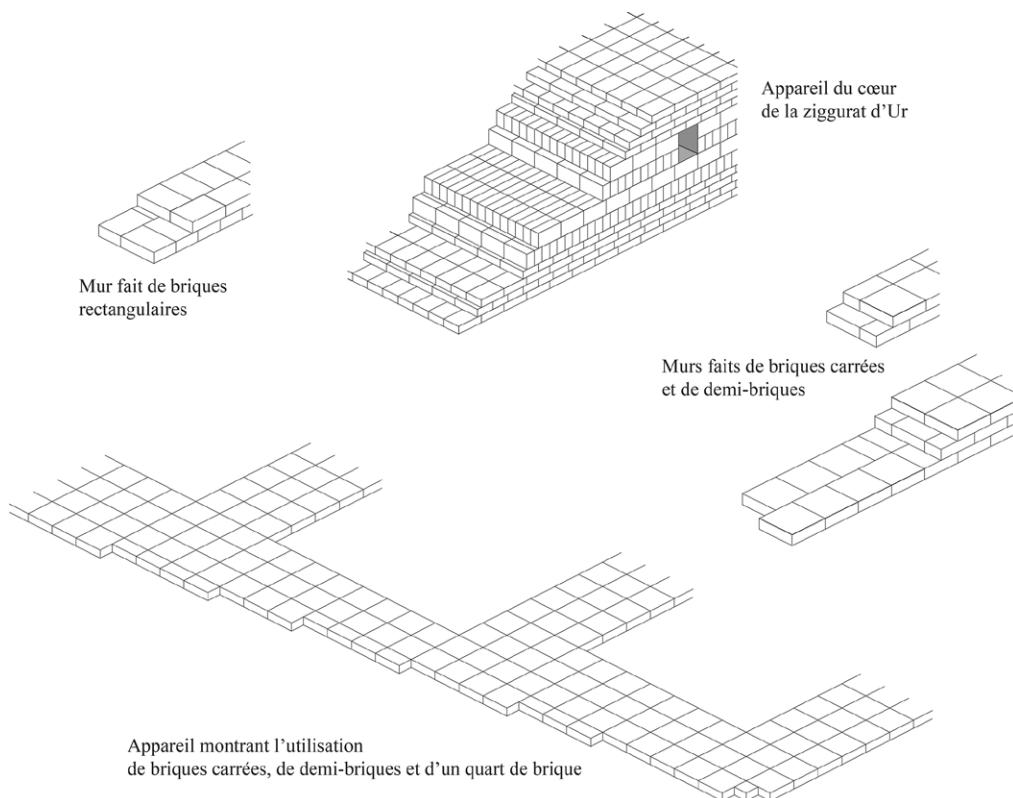


Figure 12. Quelques exemples d'appareils mésopotamiens de briques rectangulaires ou carrées (d'après Sauvage 1998).

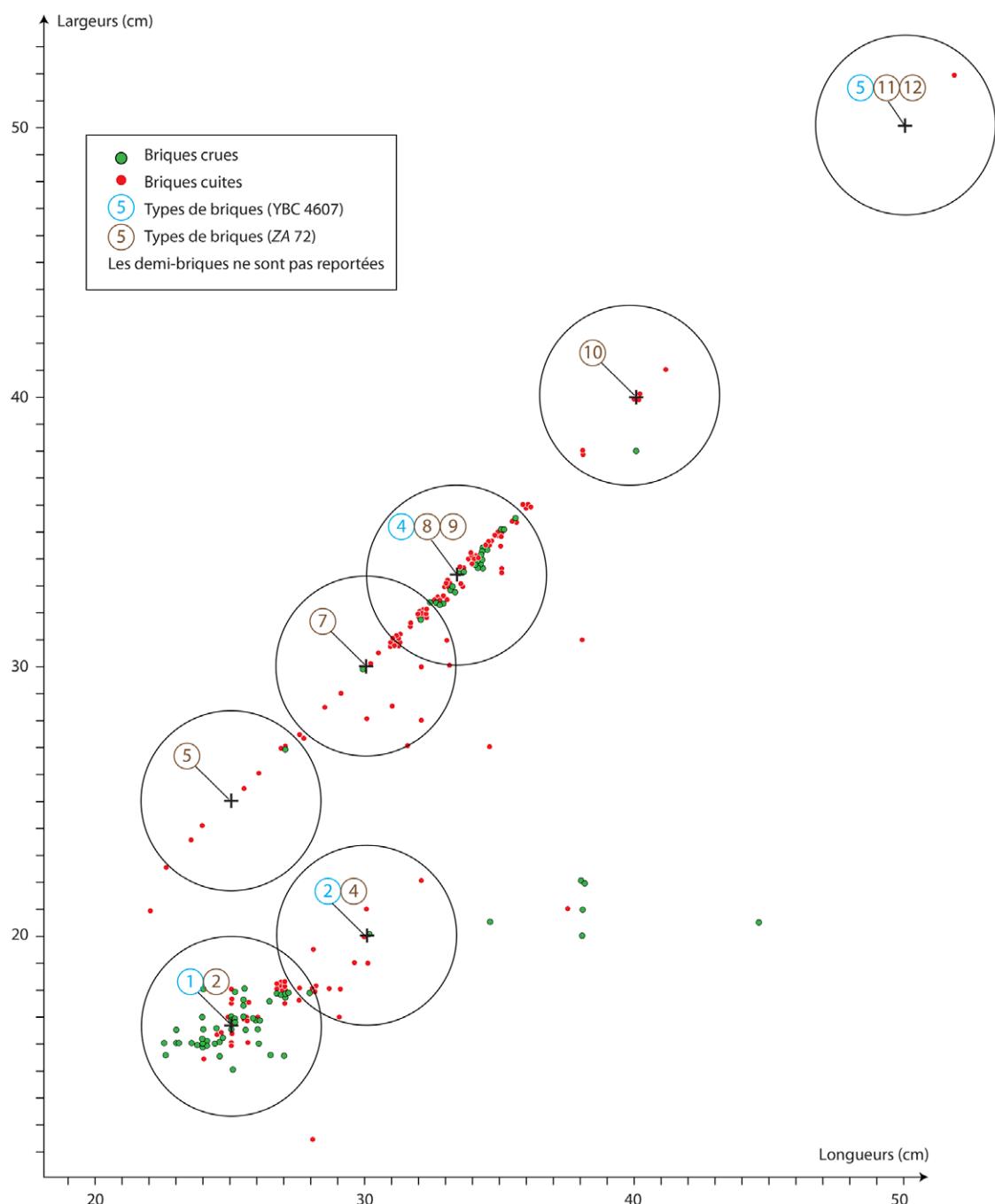


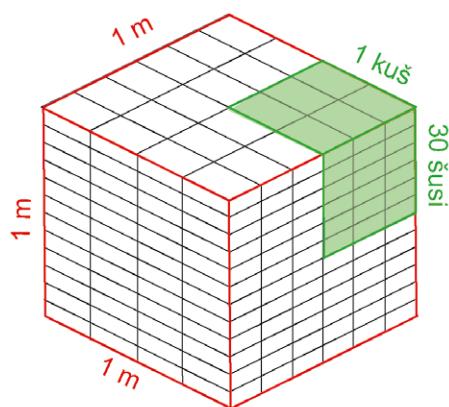
Figure 13. Diagramme de répartition des longueurs et largeurs des briques crues ou cuites datant de l'époque paléo-babylonienne, vers 2000-1600 av. J.-C. (d'après Sauvage 2022: 107).

(30 × 20 cm), accompagnées de briques carrées cuites, le plus fréquemment de 2/3 de coudée de côté (33 × 33 cm, et toujours associées à des demi-briques de 33 × 16/17 cm).

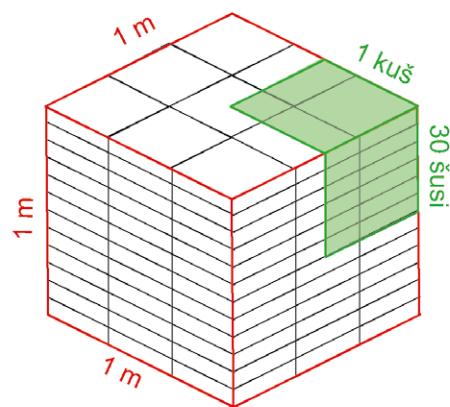
De ce fait, nombre d'exercices de calcul correspondaient en la recherche du nombre de briques contenues dans un mur ou dans une pile de stockage d'un volume donné, en tenant compte du type de brique concerné (fig. 14). Ainsi, un volume total de mur à construire ou d'une pile de

stockage de briques correspond à un nombre variable de briques, variant selon les dimensions, et donc selon le volume, du type de brique concerné.

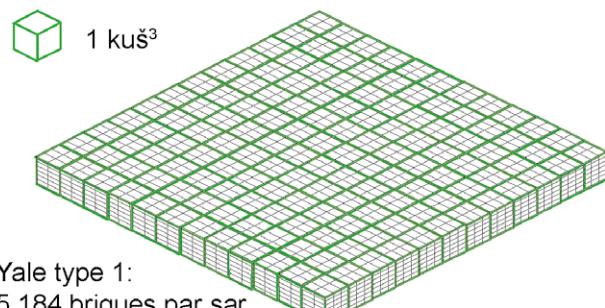
Parmi les coefficients spécifiques aux briques (Robson 1999; Middeke-Conlin 2015 et 2022; Proust 2022a), le *nalbanum* (ou « brickage ») : Naugebauer et Sachs 1945: 138; Powell 1982: 120; Robson 1999: 59) permettait de définir le nombre de briques d'un type donné contenues dans un volume donné (fig. 15). Le *nalbanum* d'une



Yale type 1 – Powell type 2
briques crues (sig₄ / akk. *libittum*)
1/2 kuš × 1/3 kuš × 5 šusi
(± 25 × 16.66 × 8.33 cm)
36 briques par kuš³
5 184 briques par sar_v
24 briques par m²
288 briques par m³



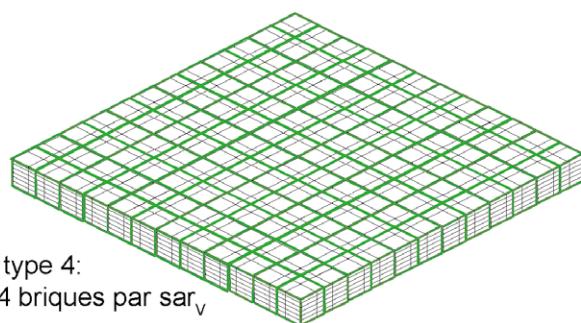
Yale type 4 – Powell type 8
briques cuites (sig₄.al.ùr.ra / akk. *agurrum*)
2/3 kuš × 2/3 kuš × 5 šusi
(± 33 × 33 × 8.33 cm)
13,5 briques par kuš³
1 944 briques par sar_v
9 briques par m²
108 briques par m³



Yale type 1:
5 184 briques par sar_v

1 sar aire (sar_a)
= 1 ninda × 1 ninda
= 12 kuš × 12 kuš
= ± 6 × 6 m = ± 36 m²

1 sar volume (sar_v)
= 1 ninda × 1 ninda × 1 kuš
= 12 kuš × 12 kuš × 1 kuš
= ± 6 × 6 × 0,5 m = ± 18 m³



Yale type 4:
1 944 briques par sar_v

Figure 14. Rapport des surfaces et volumes et du nombre de briques en fonction du type de brique : exemples ici avec un type de briques rectangulaires et un type de briques carrees, les plus courants (dessin M. Sauvage).

brique mesurant $1 \text{ kuš} \times 1 \text{ kuš} \times 5 \text{ šusi}$ ($50 \times 50 \times 8,33 \text{ cm}$) est de 720 briques par sar de volume ($1 \text{ ninda} \times 1 \text{ ninda} \times 1 \text{ kuš}$). On peut penser que c'est ce type de brique d'une coudée carrée, très peu attesté dans le matériel archéologique, qui a servi à la définition du sar de brique de 720 unités. Les dimensions des autres types de briques reposant sur des fractions de la coudée, leur *nalbanum* correspondait à des multiples de celui de la brique d'une coudée (voir fig. 15). Les modes de calcul des scribes mésopotamiens, qui ignoraient la division, reposaient sur l'utilisation de tables de correspondance, d'où l'importance de rester, avec ces unités de volumes de base que représentaient ces différents types de briques, dans des sous-multiples de l'unité de mesure de référence. Le système hexagésimal (ou sexagésimal) mathématique mésopotamien repose son effet sur la base soixante et ses nombreuses possibilités de fractions entières (pour les calculs de la pratique, voir Proust 2007; 2022a; 2022b).

On connaît également le *taddítum* (ou « layer » : Proust 2022: 216) qui permet de calculer le nombre de briques nécessaire pour couvrir une surface (voir fig. 15). Dans ce cas, c'est la surface de la brique (produit de ses deux plus grandes dimensions) qui est utilisée et non pas son volume. Si ce coefficient peut permettre de calculer des volumes (en multipliant par 6 dans le cas de briques épaisses de 5 šusi ou par 5 pour celles de 6 šusi, on obtient un volume haut d'une coudée et on transforme ainsi la surface en volume (nous avons vu plus haut que le sar de volume n'a qu'une coudée – kuš – d'épaisseur et non pas un ninda). Concrètement, ce coefficient pouvait également servir au calcul du nombre de briques nécessaire pour un carrelage.

Dans le cas des transports de briques, il s'agissait de connaître le nombre de briques pouvant être transportées par voyage et correspondant plus ou moins au chargement maximal demandé à une femme (25 kg: Heimpel 2022) ou à celui d'un homme (probablement 50 kg). On utilisait alors un autre coefficient : le *nazbalum* (Midekke-Conlin 2022: voir fig. 15). Associé à la distance à parcourir, ce coefficient permettait de calculer le nombre de jours de travail à prévoir pour déplacer une quantité donnée de briques. Dans la pratique, ces calculs étaient faits grâce à l'utilisation de tables de conversion, au moins pour l'époque paléo-babylonienne (Proust 2022a et Middeke-Conlin 2022). L'usage des coefficients présenté plus haut n'est connu que par les textes mathématiques paléo-babyloniens mais nombre de textes administratifs de l'époque de la Troisième dynastie d'Ur (Heimpel 2009: 191 par exemple) semblent indiquer qu'ils étaient déjà en usage à l'extrême fin du III^e millénaire av. J.-C.

Les textes de la pratique : quelques exemples

Les textes de transport de briques de Garšana : le rapport type de brique, charge et distance dans la pratique

Dans la pratique, les textes de transport de briques de Garšana sont un bon exemple de l'usage de ces coefficients. Les archives de Garšana (Owen et Mayr 2007; Heimpel 2009) rassemblent un total de 52 textes de transport de briques. Il s'agit de listes de noms associés à des totaux de briques. Un paragraphe final indique le nombre

| Types de briques (Powell 1982) | Dim. en cm | Nombre de briques par <i>sar_v</i> , (calculé avec le <i>nalbanum</i>) | Nombre de briques transportées sur <i>60 ninda</i> en une journée (calculé avec le <i>nazbalum</i>) | Nombre de briques par <i>sar</i> de surface (<i>taddítum</i>) |
|--------------------------------|--------------------------------|---|--|---|
| 1 | $16,66 \times 16,66 \times 10$ | 6 480 | 675 | 1 296 |
| 2 | $25 \times 16,66 \times 8,33$ | 5 184 | 540 | 864 |
| 3 | $33 \times 16,66 \times 8,33$ | 3 888 | 405 | 648 |
| 4 | $30 \times 20 \times 8,33$ | 3 600 | 375 | 600 |
| 5 | $25 \times 25 \times 8,33$ | 3 456 | 360 | 576 |
| 6 | $33 \times 16,66 \times 10$ | 3 240 | 337,5 | 648 |
| 7 | $30 \times 30 \times 8,33$ | 2 400 | 250 | 400 |
| 8 | $33 \times 33 \times 8,33$ | 1 944 | 202,5 | 324 |
| 8a | $50 \times 25 \times 8,33$ | 1 728 | 180 | 288 |
| 9 | $33 \times 33 \times 10$ | 1 620 | 208,75 | 324 |
| 10 | $40 \times 40 \times 8,33$ | 1 350 | 140,625 | 225 |
| 11 | $50 \times 50 \times 8,33$ | 864 | 90 | 144 |
| 12 | $50 \times 50 \times 10$ | 720 | 75 | 144 |

Figure 15. Coefficients spécifiques aux calculs avec des briques. Le *nalbanum* pour convertir un volume en nombre de briques, le *taddítum*, pour calculer le nombre de briques sur une surface, et le *nazbalum* pour calculer le nombre de briques transportées (d'après Sauvage 2020 : Table 6.4.).

de briques à transporter par jour ainsi que la distance, en précisant qu'il s'agit de la charge de travail de femmes (sum. *geme*)⁸. Ces textes documentent des distances différentes, selon les chantiers de construction ; le quota journalier, rappelé sur chaque texte en tient compte (Heimpel 2009: 191): 180 briques par jour pour une distance de 60 ninda (± 360 m), 150 pour 72 ninda (± 432 m), 120 pour 90 ninda (± 540 m) et 90 pour 120 ninda (± 720 m). Le produit du nombre de briques et de la distance est toujours le même: 3 soixantaines de soixantaines = 10800. Cela correspond au *naz-balum* des briques carrées de type 5 ($\frac{1}{2}$ *kuš* ou 25 cm de côté ; Proust 2007; 2022; Heimpel 2022 et Middeke-Conlin 2022).

Un devis prévisionnel : calcul des volumes de briques, de terre et de roseaux nécessaires et journées de travail correspondantes

Le texte A 2976 (fig. 16)⁹ est un devis prévisionnel pour la construction d'un entrepôt qui indique

très clairement l'usage dans la pratique de ces coefficients, ou de modes de calcul par conversion utilisant ces coefficients (récente transcription et la traduction anglaise dans Sauvage 2020 : 230-231, ma traduction française ici).

8 sar de briques [= 5760 briques], 24 journées de travail d'un ouvrier pour les faire ;
 16 journées de travail d'un ouvrier pour transporter 8 briques par voyage sur 60 ninda ;
 8 journées de travail d'un ouvrier pour préparer le mortier ;
 90 bottes de roseaux pour les nattes, 9 journées de travail d'un ouvrier pour les transporter ;
 3 journées de travail d'un ouvrier pour préparer le mortier ;
 90 bottes de roseaux à insérer dans la maçonnerie, 18 journées de travail d'un ouvrier pour les transporter ;
 6 journées de travail d'un ouvrier pour préparer le mortier ;
 Total: 84 journées de travail d'un ouvrier pour la construction de l'entrepôt... (nom et date)

Le calcul du nombre de briques nécessaire à la construction n'est pas détaillé, on peut pen-



Figure 16. Tablette d'argile à écriture cunéiforme, devis prévisionnel pour la construction d'un entrepôt, datée de Šulgi 46 (2048 av. J.-C.), conservée à l'Oriental Institute de l'Université de Chicago, n° d'inv. A2976 (cliché Cuneiform Digital Library Initiative).

8. On trouvera la transcription et la traduction complète d'un de ces textes (CUNES 48-07-066, Owen et Mayr 2007 n°324 : 150-151) dans Sauvage 2020: 231-234.

9. Tablette conservée à l'Oriental Institute de l'université de Chicago, texte administratif daté de Šulgi 46 (2048 av.

J.-C.) de provenance inconnue: Farber 1989; Robson 1999 (avec commentaire complet : 153-156); Sauvage 2020; Heimpel 2022 : 151.

ser qu'il est déduit du volume du bâtiment ou de sa surface. Le calcul du nombre de journées de transport implique l'usage du *nalbanum* mais le type de brique n'est pas spécifié. La distance est, elle, spécifiée, on peut donc en déduire le type de briques: 8 sar de briques, ou 5760 briques, sont transportés en 16 jours, soit 360 par jour, sur une distance de 60 ninda = 21600, cela correspond au double du quota vu pour Garšana pour les briques d'une demi-coudée de côté ($25 \times 25 \times 8,33$ cm) qui ont un *nazbalum* de $80 \times 60 = 10800$ (voir fig. 12). Avons-nous affaire ici à un chargement de 50 kg pour des hommes au lieu des 25 kg pour les femmes ? Notons également que, pour le moulage des briques, la tâche journalière demandée est de 240 briques à mouler par jour. Ce chiffre ne correspond probablement pas à la seule tâche du moulage (on obtiendrait des chiffres bien supérieurs, de l'ordre de 2000 briques par jour : Sauvage 2020: 209, n. 10), mais plutôt à une tâche combinée de préparation et de transport de la terre ($\frac{3}{4}$ de la journée) puis de moulage des briques (pendant le $\frac{1}{4}$ de la journée restant : pour ces tâches combinées : voir Robson 1999 : 74-77 ; Sauvage 2020: 223). On retrouve cette même valeur par exemple dans les textes datant de l'époque de la Troisième dynastie d'Ur de Garšana (Heimpel 2009: 167 et 224) ou dans des textes d'époque paléo-babylonienne (Robson 1999: 153), avec une amplitude de nombre de briques moulées par jour, de même format, allant de 180 à 300). Dans les deux cas, il pourrait s'agir des briques les plus couramment utilisées : des briques crues rectangulaires mesurant $\frac{1}{2}$ coudée sur $\frac{1}{3}$ de coudée sur 5 doigts ($\pm 25 \times 16,66 \times 8,33$ cm).

Le texte Hadad 104 (Al-Rawi and Roaf 1984 : 195-218 ; Robson 1999 : 75 ; Friberg et Al-Rawi 2016: 217-219), concerne des briques carrées de $\frac{2}{3}$ de coudée (*kuš*) de côté et 6 doigts (*šusi*) d'épaisseur, soit $33,33^2 \times 10$ cm pour un total de 135 briques produites par jour. Trois tâches sont ici prises en compte : creusement, mélange et moulage, exprimées en volume de terre : $\frac{1}{3}$ de sar peut être creusé en une journée, même quantité pour le moulage, $1/6$ de sar de terre correspondant au volume de terre qui peut être mélangé. De ces quotas journaliers, on en déduit que sur une journée, pour un même volume de terre ($1/12$ de sar ou $1,5 \text{ m}^3$) $\frac{1}{4}$ de la journée était consacré au creusement, $\frac{1}{2}$ pour le mélange) et $\frac{1}{4}$ pour le moulage.

Conclusion

Le principal matériau utilisé dans la construction mésopotamienne à l'âge du Bronze, la brique, représente un élément en volume, de trois dimensions et orienté : on peut la disposer à plat ou de chant, perpendiculairement ou parallèlement à l'axe du mur, en pile ou en couche, etc. Si la plupart des calculs concernant les activités de construction sont fait à partir de volumes, la brique à la particularité d'être un volume décompté en général à l'unité. Elle présente également la particularité de se décliner en plusieurs types (dimensions et modules) qui font que le rapport unité/volume est variable.

Ces caractéristiques ont fait que les calculs sur des briques faisaient partie à la fois de la base de l'apprentissage de scribes mais également de leur pratique quotidienne dans le cadre des activités de construction. Pour les différentes conversions nécessaires entre les volumes et les unités de briques, des coefficients ont été créés (*nalbanum*, *nazbalum* et *tadditum*). Dans la pratique, il semble que c'était plutôt l'usage des tables de conversion, facilité par le système hexagesimal qui étaient privilégié.

Le décompte des briques à l'unité (utilisé également pour la mesure des murs) et non en volume a incité également à l'utilisation de briques dont les trois dimensions correspondaient à des fractions de la coudée, l'unité de mesure de référence pour les distances). Cette tendance est visible, en tenant compte de la dispersion des valeurs dues au retrait au séchage des briques, sur le matériel archéologique même et c'est là un des rares cas dans les études sur l'Orient ancien où l'on peut valider les informations textuelles grâce aux restes archéologiques.

Martin Sauvage

Centre national de la recherche scientifique (CNRS)
Archéologie et Sciences de l'Antiquité (UMR 7041 ArScAn)
équipe Du village à l'État au Proche- et au Moyen-Orient
(VEPMO)

MSH Mondes, bâtiment Ginouvès
21 allée de l'Université
F-92023 Nanterre cedex (France)
martin.sauvage@wanadoo.fr
ORCID: 0000-0001-7599-5135

Data de recepció: 11/06/2024
Data d'acceptació: 19/07/2024

Références bibliographiques

- AL-RAWI, F., AND ROAF, M. (1984). Ten Old Babylonian mathematical problems from Tell Haddad. *Sumer*, 43: 175-218.
- AURENCHÉ, O., dir. (1977). *Dictionnaire illustré multilingue de l'architecture du Proche-Orient ancien*. Maison de l'Orient (Coll. de la Maison de l'Orient méditerranéen ancien 3 ; série archéologique 2). Lyon.
- AURENCHÉ, O. (1981). *La Maison orientale : l'architecture du Proche-Orient ancien, des origines au milieu du quatrième millénaire*. P. Geuthner (Bibliothèque archéologique et historique, 109). Paris.
- AURENCHÉ, O. (1993). L'origine de la brique dans le Proche-Orient ancien. In: FRANGIPANE, M. (éd.). *Between the Rivers and over the Mountains: Archaeologica Anatolica et Mesopotamica Alba Palermi Dedicata*. Università di Roma « La Sapienza ». Rome : 71-85.
- BATTINI-VILLARD, L. (1999). *L'espace domestique en Mésopotamie de la III^e dynastie d'Ur à l'époque paléo-babylonienne*. J. and E. Hedges (BAR, International Series 767). Oxford.
- BAUDOUIN, E. (2020). Modelées ou moulées ? Les premières briques crues du Caucase au Néolithique. *e-Phaïstos*, 7/2. DOI en ligne: <<https://doi.org/10.4000/ephaistos.7912>>.
- BAUDOUIN, E. (2022). Construire sa maison en Mésopotamie au Néolithique : un travail de spécialiste ? *e-Phaïstos*, 10/2. DOI en ligne : <<https://doi.org/10.4000/ephaistos.10249>>.
- CAUVIN, J. (1978). *Les premiers villages de Syrie-Palestine du IX^e au VII^e millénaire avant J.-C.* Maison de l'Orient (Coll. de la Maison de l'Orient méditerranéen ancien ; série archéologique 3). Lyon.
- CAUVIN, J. (1989). La Stratigraphie de Cafer Höyük-Est (Turquie) et les origines du PPNB du Taurus. *Paléorient*, 15/1 : 75-86.
- CHOIMET, G. (2020). De la pertinence de l'utilisation de comparatifs ethnoarchéologiques pour l'étude des structures architecturales antiques: exemple de la confection des briques au Soudan à l'époque méroïtique. *Sources. Materials & Fieldwork in African Studies*, 1: 43-77.
- DAUNE-LE BRUN, O. (2003). La terre à bâtir, son emploi dans les constructions du Néolithique pré-céramique récent de Chypre. In : DE CHAZELLES, C.-A., ET KLEIN, A. (eds.). *Échanges transdisciplinaires sur les constructions en terre*, 1. *Terre modelée, découpée ou coiffée : matériaux et modes de mise en œuvre*, actes de la table-ronde (Montpellier 17-18 novembre 2001). Les éditions de l'Espérone. Montpellier : 151-160.
- DOAT P., HAYS, A., HOUBEN, H., MATUK, S., VITOUX, F. (1979). *Construire en terre*. Éditions Alternatives et Parallèles. Paris
- DOLLFUS, G. (1975). Les fouilles à Djaffarabad de 1972 à 1974 : Djaffarabad périodes I et II. *Cahiers de la DAFI*, 5: 11-222.
- FARBER, G. (1989). al-tar im Edubba: Notwendige Arbeitsgänge beim Bau eines Schulhauses. In: BEHRENS, H., LODING, D., ROTH, M. T. (eds.). UME-E2-DUB-BA-A. *Studies in Honor of Åke W. Sjöberg*. The University Museum (Occasional Publications of the Samuel Noah Kramer Fund, 11). Philadelphia : 137-147.
- FOREST, J.-D. (1987). Tell el-'Oueili – 4^e campagne (1983). Stratigraphie et architecture. In : HUOT, J.-L. (dir.). *Larsa (10^e campagne, 1983) et 'Oueili (4^e campagne, 1983). Rapport préliminaire*. Éditions Recherche sur les civilisations. Paris : 17-32.
- FOREST-FOUCAULT, C. (1980). Rapport sur les fouilles de Kheit Qasim III, Hamrin. *Paléorient*, 6: 221-224.
- FRIBERG, J., AND AL-RAWI, F. (2016). *New Mathematical Cuneiform Texts*. New York: Springer.
- GEYER, B., ET SAUVAGE, M. (2020). Les variations du tracé de la côte et des fleuves en basse Mésopotamie. In : Sauvage, M. (dir.). *Atlas historique du Proche-Orient ancien*. Les Belles Lettres. Paris: 8-13.
- HEIMPEL, W. (2009). *Workers and Construction Work in Garshana*. CDL Press (Cornell University Studies in Assyriology and Sumerology, 5). Bethesda.
- HEIMPEL, W. (2022). Carrying Bricks and Bundling Reed in Theory and Practice. In: CHEMLA, K., KELLER, A., PROUST, C. (eds.). *Cultures of Computation and Quantification in the Ancient World. Numbers, Measurements, and Operations in Documents from Mesopotamia, China and South Asia*. Springer (Why the Sciences of Ancient World Matter, 6). Cham: 143-170.

- HEUZEY, L. (1902). *Catalogue des antiquités chaléennes : sculpture et gravure à la pointe*. Librairies-imprimeries réunies. Paris.
- MIDDEKE-CONLIN, R. (2015). Le prix d'une maison en briques. Constantes mathématiques et problèmes concernant la construction de maisons à l'époque paléo-babylonienne. In : MICHEL, C. (éd.). *De la maison à la ville dans l'Orient ancien : la maison et son mobilier*. MAE (Thème VIII, Cahiers des thèmes transversaux d'ArScAn, vol. XII, 2013-2014). Nanterre: 251-261.
- MIDDEKE-CONLIN, R. (2022). The *Nazbalum* in Old Babylonian Mesopotamia: An Absolute Number or an Administrative Tool? In: CHEMLA, K., KELLER, A., PROUST, C. (eds.). *Cultures of Computation and Quantification in the Ancient World. Numbers, Measurements, and Operations in Documents from Mesopotamia, China and South Asia*. Springer (Why the Sciences of Ancient World Matter, 6). Cham: 357-397.
- MOLIST, M., ET CAUVIN, J. (1991). Les niveaux inférieurs de Cafer Höyük (Malatya, Turquie): stratigraphie et architecture (fouilles 1984-1986). *Cahiers de l'Euphrate*, 5-6: 85-114.
- NAUGEBAUER, O., AND SACHS, A. J. (1945). *Mathematical Cuneiform Texts*. American Oriental Series & American Schools of Oriental Research. New Haven, Conn.
- NEUMANN, H. (1996). Der sumerische Baumeister (šidim). In: VEENHOF, K. R. (ed.). *Houses and Households in Ancient Mesopotamia*, actes de la 15^e Rencontre assyriologique internationale (Leiden, 5-8 juillet 1993). Nino. Leiden: 153-169.
- OATES, J. (1969). Choga Mami, 1967-68: A Preliminary Report. *Iraq*, 31: 115-153.
- OWEN, D. I., AND MAYR, R. H. (2007). *The Garshana Archives*. CDL Press (Cornell University Studies in Assyriology and Sumerology, 3). Bethesda.
- POWELL, M. A. (1982). Metrological notes on the Esagila tablet and related matters. Appendix II: Bricks as evidence for metrology. *Zeitschrift für Assyriologie und Vorderasiatische Archäologie*, 72: 106-123.
- POWELL, M. A. (1987-1990). Maße und Gewichte. *Reallexikon der Assyriologie und vorderasiatischen Archäologie*, 7: 457-517.
- PROUST, C. (2007). *Tablettes mathématiques de Nippur*. IEFA. Istanbul.
- PROUST, C. (2022a). Volume, Brickage and Capacity in Old Babylonian Mathematical Texts from Southern Mesopotamia. In: CHEMLA, K., KELLER, A., PROUST, C. (eds.). *Cultures of Computation and Quantification in the Ancient World. Numbers, Measurements, and Operations in Documents from Mesopotamia, China and South Asia*. Springer (Why the Sciences of Ancient World Matter, 6). Cham: 197-264.
- PROUST, C. (2022b). The sexagesimal place-value notation and abstract numbers in mathematical cuneiform texts. *Historia Mathematica*, 59: 54-70.
- QUENET, P., dir. (2016). *Ana ziqquratim. Sur la piste de Babel*, catalogue de l'exposition (Strasbourg, Bibliothèque nationale et universitaire, 27 avril-21 juin 2016). Presses universitaires de Strasbourg. Strasbourg.
- ROBSON, E. (1999). *Mesopotamian Mathematics, 2100-1600 BC. Technical Constants in Bureaucracy and Education*. Clarendon (Oxford Editions of Cuneiform Texts 14). Oxford.
- ROTH, M. (1995). *Law Collection from Mesopotamia an Asia Minor*. Scholars Press (SBL Writings from the Ancient World, 6). Atlanta.
- SALLABERGER, W. (2022). Measuring Grain in Early Bronze Age Mesopotamia: Form, Use, and Control of the Bariga Container in the Twenty-First Century BCE. In: CHEMLA, K., KELLER, A., PROUST, C. (eds.). *Cultures of Computation and Quantification in the Ancient World. Numbers, Measurements, and Operations in Documents from Mesopotamia, China and South Asia*. Springer (Why the Sciences of Ancient World Matter, 6). Cham: 171-196.
- SAUVAGE, M. (1998a). *La Brique et sa mise en œuvre en Mésopotamie des origines à l'époque achéménide*. ERC (Travaux du Centre de recherche d'archéologie orientale, université Paris I, 13). Paris.
- SAUVAGE, M. (1998b). La construction des ziggurats sous la Troisième dynastie d'Ur. *Iraq* 60: 45-63.
- SAUVAGE, M. (2009). Les débuts de l'architecture de terre au Proche-Orient. In : ACHENZA, M., CORREIA, M., GUILLAUD, H. (éds.). *Mediterra 2009. 1a Conferenza mediterranea sull'architettura in terra cruda = 1^{re} conférence méditerranéenne sur l'architecture de terre = 1st Mediterranean Conference on Earth Architecture*. EdicomEdizioni (Architettura sostenibile. Documenti). Cagliari: 189-198.

- SAUVAGE, M. (2011). Construction Work in Mesopotamia in the Time of the Third Dynasty of Ur (End of the Third Millennium BC): Archaeological and Textual Evidence. In: HWANG, H., KIM, S., GUILLAUD, H., GENDREAU D. *TerrAsia 2011. 2011 International Conference on Earthen Architecture in Asia*. Terrakorea. Mokpo (Corée du Sud) : 55-65.
- SAUVAGE, M. (2015a). La gestion de la construction publique sous la Troisième dynastie d'Ur. In : MICHEL, C. (éd.). *De la maison à la ville dans l'Orient ancien : bâtiments publics et lieux de pouvoir*. MAE (Thème VIII, Cahiers des thèmes transversaux d'ArScAn, vol. XII, 2013-2014). Nanterre: 130-115.
- SAUVAGE, M. (2015b). La construction des maisons à Garšana : commentaires archéologiques. In : MICHEL, C. (éd.). *De la maison à la ville dans l'Orient ancien : bâtiments publics et lieux de pouvoir*. MAE (Thème VIII, Cahiers des thèmes transversaux d'ArScAn, vol. XII, 2013-2014). Nanterre: 239-250.
- SAUVAGE, M. (2020). Mathematical Computations in the Management of Public Construction Work in Mesopotamia (End of the Third and Beginning of the Second Millennium BCE). In: MICHEL, C., AND CHEMLA, K. (eds.). *Mathematics, Administrative and Economic Activities in Ancient Worlds*. Springer (Why the Sciences of Ancient World Matter, 5). Cham: 201-237.
- SAUVAGE, M. (2022). Construire un bâtiment public en terre dans la Mésopotamie ancienne : organisation, ouvriers et quantités d'après les données archéologiques et les textes de la fin du III^e et du début du II^e millénaire av. J.-C. In : DE CHAZELLES, C.-A., LEAL, É., DEVILLERS, P. (éds.). *Architecture et construction en terre crue. Approches historiques, sociologiques, économiques*. Les éditions de l'Espérone (Échanges transdisciplinaires sur les constructions en terre crue, 5). Montpellier: 97-114.
- TOBLER, A. J. (1950). *Excavations at Tepe Gawra, vol. I. Levels IX-X*. University of Pennsylvania Press. Philadelphie.
- WAETZOLDT, H. (1987). Compensation of craft workers and officials in the Ur III period. In: POWELL, M. A. (éd.). *Labor in the Ancient Near East*. American Oriental Society (AOS 68). New Haven, Conn.: 117-141.
- WISEMAN, D. J. (1972). A Babylonian Architect? *Anatolian Studies*, 22: 141-147.