

# UN COMPLEXE SCIENTIFIQUE À QUMRÂN LE DISQUE DE PIERRE, LES CLEPSYDRES ET LES *MIŠMAROT*

Paul TAVARDON, O.C.S.O.

augustin\_tavardon@yahoo.com

## RÉSUMÉ

Le présent article tend à établir la cohérence épistémologique, archéologique et littéraire que révèle le rapprochement d'objets et de textes propres au site de Qumrân. Un « disque de pierre » découvert par le P. de Vaux en 1954, des jarres à *conduit d'écoulement* découvertes dans le même lieu, enfin la littérature astronomique tant dans les *mišmarot* que dans *le livre d'Hénoch*. L'ensemble vise à montrer la présence d'une tradition scientifique basée sur la compréhension, l'observation et l'adaptation..

## ABSTRACT

This article seek to establish the epistemological, archaeological and literary coherence revealed by the approximation of objects and texts specific to the site of Qumrân. A "stone disc" discovered by the P. de Vaux in 1954, jars with drain tube discovered in the same place, and finally the astronomical literature both in the *mišmarot* and in the book of Henoah. The set aims to show the presence of a scientific tradition based on understanding, observation and adaptation.

## 1. LE DISQUE DE PIERRE

En 1954 le P. Roland de Vaux trouve à Qumrân dans le *locus 45* ce qu'il nomme « *un disque de pierre* ». La fiche de fouille porte le numéro 1229. L'objet est déposé aujourd'hui au Musée d'Israël<sup>1</sup>. Il s'agit d'un disque de calcaire de 150 mm de diamètre. Ce disque se caractérise par une surface

<sup>1</sup> Sur le locus 45 voir Roland de VAUX, Jean-Baptiste HUMBERT, Alain CHAMBON, *Fouilles de Khirbet Qumrân et de Aïn Feshkha I: Album de photographies. Répertoire du fonds photographique. Synthèse des notes de chantier du Père Roland de Vaux OP*, – Fribourg Pêrolles 42 : Éditions universitaires de Fribourg / Universitätsverlag Freiburg, 1994, (Novum Testamentum et Orbis Antiquus [NTOA] Series Archaeologica, Vandenhoeck & Ruprecht, 1994), 168, 170, 307-308. *Le cadran est enregistré comme objet n° 1229, actuellement au Sanctuaire du Livre*, Musée d'Israël, Jérusalem. (Israel Antiquities Authority, Accession number: 97.74 [134])

concave sur laquelle sont tracés des cercles et des sillons concentriques et un certain nombre de marques en creux ou en plein<sup>2</sup> (figure 1).

Sans hypothèse préconçue nous avons effectué un ensemble de mesures en utilisant le calcul statistique absolument nécessaire vu l'état de l'objet et compte tenu des zones manquantes. Ces méthodes statistiques sont plus ou moins complexes, mais elles permettent des mesures correctes.

Ne présumant pas d'un gnomon ni de son épaisseur, nous définissons des coordonnées cartésiennes qui permettront des mesures de longueur et d'angles.

On se reportera à la figure 1. L'origine des coordonnées est placée en O au centre du disque. L'axe des abscisses ( $x$ ) reliant le point O au signe en forme de  $\Phi$  renversé, coupe la limite du disque en E pour  $x$  positif et en W pour  $x$  négatif. L'axe des ordonnées ( $y$ ) est perpendiculaire en O à l'axe des abscisses, il coupe la limite du disque en S pour  $y$  négatif et en N pour  $y$  positif. Le signe  $\Phi$  est posé comme origine des mesures angulaire ( $\Phi = 0^\circ$ ). Les angles sont comptés dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, dit sens direct.

On peut voir sur la figure 1 que *le disque* est composé d'un ensemble de couronnes et de sillons concentriques. Les couronnes sont en plein et les sillons en creux.

### 1.1. Les couronnes et leur gradations

On peut compter sept couronnes numérotées  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7$ .

Ces couronnes peuvent être classées en deux catégories. Les couronnes  $C_4, C_6, C_7$  portent des marques en creux orientées vers le centre du disque.

Les couronnes  $C_2, C_3, C_5$  portent des marques en plein dont l'orientation vers le centre est moins stricte (figure 2). Ces couronnes portent par ailleurs d'autres marques qu'il faudra décrire (figure 1).

<sup>2</sup> U. GLESSMER, M. ALBANI, An Astronomical Measuring Instrument from Qumran In: Parry DONALD W, Ulrich Eugene CHARLES (éd.), *The Provo International Conference on the Dead Sea Scrolls* (Studies on the Texts of the Desert of Judah 30) Leiden, Brill 1999, 407-442. M. ALBANI & U. GLESSMER., « Un instrument de mesures astronomiques à Qumrân », *RB* 104 (1997) 89-115. G.M. HOLLENBACK, "The Qumran Roundel : An Equatorial Sundial?", (*DSD* 7, 2000). 123-129. B. THIERING, "The Qumran sundial, as an odometer using fixed lengths of hours", (*DSD* 9, 2002), 347-363. Paul TAVARDON, *Le disque de Qumrân*, (CRB 75) Paris, Gabalda, 2010.

Jonathan BEN-DOV, "The Qumran Dial: Artifact, Text, and Context," in *Qumran und die Archäologie* (ed. J. FREY, C. CLAUSSEN, and N. KESSLER, (WUNT 278) Tübingen: Mohr Siebeck, 2011, 211-237.

1.1.1. *Les marques en creux*<sup>3</sup>

Les marques en creux des couronnes  $C_4$  et  $C_6$  sont totalement différentes de celles de la couronne  $C_7$ .

a-Couronnes  $C_4$  et  $C_6$ 

Couronne  $C_4$  :  $37,5 \text{ mm} \leq R \leq 41,25 \text{ mm}$

Couronne  $C_6$  :  $48,75 \text{ mm} \leq R \leq 56,25 \text{ mm}$

Ces marques en creux peuvent être estimées à 72 pour chaque couronne, soit une suite de divisions de  $5^\circ$  en  $5^\circ$ . Les graduations des deux couronnes sont en décalage de  $2,5^\circ$ <sup>4</sup>. Ainsi les deux couronnes  $C_4$  et  $C_6$  permettent une division du cercle en 144 divisions de  $2,5^\circ$ .

b-Couronne  $C_7$   $60 \text{ mm} \leq R \leq 63,75 \text{ mm}$ 

Cette couronne offre deux particularités qui la distinguent des couronnes  $C_4$  et  $C_6$ . Elle n'est pratiquement pas séparée de la couronne  $C_6$  dont elle se présente, à première vue, comme une continuation, mais son plan est très différent de celui des autres couronnes. Il fait un angle de plus de  $45^\circ$  avec l'horizontal. Les marques sont en creux comme pour  $C_4$  et  $C_6$ , l'évaluation du nombre en est plus complexe vu le mauvais état de la couronne. Ont été retenus quatre échantillons  $a = 0^\circ$  à  $40,8^\circ$ ,  $b = 55^\circ$  à  $85,3^\circ$ ,  $c = 110,4^\circ$  à  $177,9^\circ$ ,  $d = 222,6^\circ$  à  $269^\circ$ .<sup>5</sup> L'étude statistique plus fine basée sur l'écart-type est développée dans notre étude<sup>6</sup>.

Une première analyse des quatre groupes (a, b, c, d) de graduations de la couronne  $C_7$ , par régression linéaire<sup>7</sup> a montré que l'espacement des graduations ne suit pas une même progression arithmétique comme dans le cas des couronnes  $C_4$  et  $C_6$ . L'hypothèse tendant à chercher une relation avec le déplacement de l'ombre d'un gnomon ou d'un bec triangulaire ne donne aucun résultat pour cette couronne<sup>8</sup>. L'étude statistique conduit à un nombre de graduations  $n$  compris entre : 79 et 92.  $79 \leq n \leq 92$ .

<sup>3</sup> Voir la représentation du disque figure 1. Couronne  $C_4$ ,  $C_6$ ,  $C_7$  et la figure 2.

<sup>4</sup> Pour le détail des mesures basées sur des méthodes statistiques compte tenu de l'endommagement du disque Voir Paul TAVARDON, *Le disque de Qumrân*, pour la couronne  $C_4$ , 21 -26, pour la couronne  $C_6$ , 26-30. On calcule ici une courbe de tendance et un coefficient de détermination pour chacun des échantillons : pour  $C_4$ , deux échantillons,  $0^\circ$  à  $92,4^\circ$ ,  $120^\circ$  à  $154,9^\circ$ . Dans le cas de  $C_6$ , un échantillon,  $3^\circ$  à  $92^\circ$ . Dans les trois cas nous avons une fonction de forme  $y = ax + b$ , avec  $a = 5^\circ$  et un coefficient de détermination  $R^2 = 0,9 \approx 1$ .

<sup>5</sup> Rappelons que les angles sont comptés à partir de  $\Phi = 0^\circ$ .

<sup>6</sup> P. TAVARDON, *Le disque de Qumrân*, 124 et suiv.

<sup>7</sup> P. TAVARDON, *disque*, 30 -34.

<sup>8</sup> *Ibid.* 123.

En appelant  $k$  (en degré) la valeur d'un espacement des graduations de  $C_7$ , on peut écrire :  $3,91^\circ \leq k \leq 4,56^\circ$ .

Une différence fondamentale se fait jour dans la distinction des trois couronnes portant des marques en creux. Dans le cas de  $C_7$ , les mesures des espacements ne présentent pas de cohérence. En revanche dans le contexte de Qumrân, le nombre de 91 graduations peut aisément être rapporté au 364 jours du calendrier essénien. ( $91 \times 4 = 364$ )

Couronnes	$R$	espacement	Nombre de graduations	Fonction
$C_4$	$37,5 \text{ mm} \leq R \leq 41,25 \text{ mm}$	$5^\circ$	72	$y = 5x$
$C_6$	$48,75 R \leq 56,25 \text{ mm}$	$5^\circ$	72	$y = 5x$
$C_7$	$C_7 \ 60 \leq R \leq 63,75 \text{ mm}$	<i>Non déterminé</i>	91	$y = 3,956x$

Tableau 1 : Couronnes  $C_4$ ,  $C_6$ ,  $C_7$

### 1.1.2. Les marques en saillie

Ces marques apparaîtront avec l'étude complète du disque, comme l'élément essentiel et original de cet objet, Bien qu'elles ne soient pas facilement observables. Elles n'apparaissent pas sur tous les clichés et la maquette du *Musée d'Israël* ne permet pas de les distinguer. En revanche sur le modèle original du *Musée* et avec un bon éclairage ainsi que sur les photos de qualité elles apparaissent très nettement<sup>9</sup>.

On note en premier lieu que ces marques en saillie ne sont présentes que sur la partie comprise entre  $0^\circ$  et  $90^\circ$  de notre croquis, avec une exception, réservée à un autre usage. Trois couronnes sont concernées,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_5$ . ( $C_2$ ,  $15 \text{ mm} \leq R \leq 26,25 \text{ mm}$  ;  $C_3$ ,  $30 \text{ mm} R \leq 37,5 \text{ mm}$  ;  $C_5$ ,  $41,25 \text{ mm} \leq R \leq 45 \text{ mm}$ .) Pour chaque couronne on mesure l'angle que fait chacune des marques en saillie avec l'axe des abscisses. Cet angle est noté  $a'$  (Pour une raison que le développement explicitera, on crée une colonne avec  $a = (270^\circ - a')$ ). Cela revient à prendre, pour origine des mesures de l'angle  $a$ , le point S sur la figure 1, avec  $S = 0^\circ$ <sup>10</sup>.

<sup>9</sup> Par exemple elles apparaissent très visiblement dans la première photo. voir. PAM 42.683 objet 1229 trouvé dans le locus 45, J.B. HUMBERT, A. CHAMBON, R. DE VAUX, *fouilles*, 307-308.

<sup>10</sup> Sur la couronne  $C_2$  la graduation en saillie ( $n^\circ 3$ ) n'est pas dans l'axe du centre du disque. Sa base (3a) sur  $C_2$  intérieure fait un angle  $a$  de  $34^\circ$  avec le signe  $\Phi$  renversé alors que son sommet (3b) sur  $C_2$  extérieure fait un angle de  $42^\circ$ , soit une différence de  $8^\circ$ . Le même phénomène se constate sur la couronne  $C_3$  avec 6a (+  $55^\circ$ ) et 6b (+  $57^\circ$ )

$C_2$	$a'$	$a$	$C_3$	$a'$	$a$	$C_5$	$a'$	$a$
- 1	- 6°	276°	- 1	- 6°	276°			
1	+ 9°	261°	1	+ 17°	253°	1	10°	260°
2	+ 17°	253°	2	+ 27°	243°	2	19°	251°
3a	+ 34°	236°	3	+ 34°	236°	3	31°	239°
3b	+ 42°	228°	4	+ 46°	224°	4	42°	228°
4	+ 54° °	216°	5	+ 53°	217°	5	49°	221°
5	+ 59° °	211°	6a	+ 55°	215°	6	53°	217°
			6b	+ 57°	213°	7	59°	211°
			7	+ 59°	211°			

Tableau 2 : Couronnes  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_5$ 

Si l'on exclut la marque  $a' = - 6^\circ$  (au-dessous de l'axe des  $x$ ), on peut constater que :

$$9^\circ \leq a' \leq 59^\circ, \text{ soit } 276^\circ \geq a \geq 211^\circ.$$

Peut-on faire apparaître une relation entre les valeurs de  $a'$  ou  $a$  ? A partir du tableau 2 il est possible d'émettre une hypothèse sur la signification des marques en saillie des couronnes  $C_2$ ,  $C_3$  et  $C_5$ .

Indépendamment du fait de savoir encore si *le disque* avait une fonction astronomique, on peut relever une correspondance entre la valeur  $a$  des marques indiquées sur *le disque* sur les couronnes  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_5$  et les azimuts du Soleil donnés par les *Ephémérides de l'IMCCE*<sup>11</sup>.

Prenons comme exemple le 9 février an 0, à 2 h vraies, l'azimut<sup>12</sup> du Soleil donné par les Ephémérides est de  $215,9^\circ$  ( $\approx 216^\circ$ ), ce qui correspond à un angle  $a' = 54,1^\circ$  ( $\approx 54^\circ$ ) (Voir en note les paramètres utilisés et les résultats du calcul)<sup>13</sup>. On voit dans le tableau 2 (figure 2) qu'il

<sup>11</sup> Cf. Site de l'IMCCE, <http://www.imcce.fr> (Institut de Mécanique Céleste et Calcul des Ephémérides)

<sup>12</sup> L'azimut du Soleil est compté positivement depuis le méridien Sud vers l'Ouest de  $0^\circ$  à  $180^\circ$  et négativement vers l'Est de  $0^\circ$  à  $-180^\circ$ . Voir Denis SAVOIE, *La gnomonique*, Les Belles Lettres, 2007, 11.

<sup>13</sup> <http://www.imcce.fr> # Miriade.ephemcc.results

# Request:

# targetType: Star, targetNumber: 11, targetName: Sun, Diameter: 1392000.00 km, Orbital period: 0.00000000E+00 d, Time\_Scale: TT, Planetary\_Theory: DE406/LE406, Coordinates: Dedicated to the observation, frameType: Apparent (true equator; equinoxe of the date), frameCentre: Topocenter, Location\_Name: userLocation, Location\_Coordinates: 2h 21m 50.064s E ; 31d 44m 26.880s N ; 0.00m

existe une marque en saillie : la marque n° 4 située sur la couronne  $C_2$ . Cette marque  $a' = (270^\circ - a)$  correspond à l'azimut du Soleil à 2 h vraies le 9 février de l'année 0. Certes, cette correspondance ne peut constituer à elle seule une preuve. Il reste alors à généraliser la méthode pour l'ensemble des marques en saillie.

L'analyse permet d'obtenir de manière systématique le résultat suivant :

Du 9 février au 21 mai de l'an 0 à la longitude et latitude de Qumrân les marques indiquant la valeur de l'azimut à 2 h vraies sont distribuées comme suit sur la couronne  $C_2$ .

N° des marques sur $C_2$	$a' = (270^\circ - a)$	$a$	Dates
4	54°	216°	9 février
3	34°	236°	11 avril
2	17°	253°	21 mai

Tableau 3 : Couronnes  $C_2$  et azimuts du Soleil

Les mêmes mesures effectuées sur la couronne  $C_5$  donnent le tableau 4<sup>14</sup> :

Sur le tableau 4 on qu'il existe une marque en saillie : la marque n° 3 située sur la couronne  $C_5$ . Cette marque  $a' = (270^\circ - a) = 31^\circ$  correspond à l'azimut du Soleil 239° à 2 h vraies le 28 août an 0.

N° des marques sur $C_5$	$a' = (270^\circ - a)$	$a$	Dates
1	10°	260°	7 juillet
2	19°	251°	3 août
3	31°	239°	28 août
6	53°	217°	31 octobre
7	59°	211°	16 décembre

Tableau 4 : Couronne  $C_5$  et azimuts du Soleil

Sun, Date, année, mois, jour, heure, minute, seconde, 0-02-09T 11:55:30.00, heure vraie 2h 0m 0.02, Déclinaison : -15 30 15.99, azimut (d, m, s) 215° 52' 8.06", hauteur : +34 41 7.58.

<sup>14</sup> Relevé des résultats donné par les Ephémérides de l'IMCCE pour le 28 août.

# Request:

# targetType: Star, targetNumber: 11, targetName: Sun, Diameter: 1392000.00 km, Orbital period: 0.00000000E+00 d, Time\_Scale: TT, Planetary\_Theory: DE406/LE406, Coordinates: Dedicated to the observation, frameType: Mean of the date, frameCentre: Topocenter, Location\_Name: userLocation, Location\_Coordinates: 2h 21m 50.064s E ; 31d 44m 26.880s N ; 0.00m

Sun, 0-08-28T11:38:07.00, 12.30406, 12 1 17.91, -00 8 40.48, 2h 0m 0.23s, +10 40 32.57, 239 26 12.72, +55 12 18.69,

L'étude des marques en saillie des couronnes  $C_2$  et  $C_5$  toutes rassemblées sur le premier quart du disque entre  $0^\circ$  et  $90^\circ$  établit avec certitude une finalité d'ordre astronomique pour *le disque* de Qumrân. Cette finalité se fonde sur la correspondance des valeurs angulaires des marques et des azimuts du Soleil pour une seule et même heure, 2 h vraie (2h du Soleil).<sup>15</sup>

Il faut encore se demander si ces dates et cette distribution ont une fonction particulière, car elles ne peuvent être l'effet du hasard compte tenu de l'heure semblable pour toutes les marques à savoir : 2h vraies. On examinera à cet effet trois dates : 9 février, 7 juillet, 31 octobre pour chacune de ces marques relevées dans les tableaux 3 et 4 l'heure du Soleil comme nous l'avons vérifié, est de 2 h. (Angle horaire  $H = 2h$ ). Quelle est pour chacune de ces marques l'heure du calendrier compté en Temps moyen,  $TM$  ou heure du méridien origine ?

- Le 9 février<sup>16</sup>,  $TM = 11h\ 55m\ 30s$ , et en rajoutant la longitude de Qumrân :  $2h\ 21m\ 50s$ , le  $TM$  de Qumrân est de  $14\ h\ 17m\ 20s$  pour un Temps vrai du Soleil,  $TV = 14h$ . En posant  $Hv =$  heure vraie du Soleil et  $Hm =$  heure moyenne des montres, des calendriers, des sabliers ou des clepsydes on a pour le 9 février :  $Hm = Hv + 17\ m$  ou  $Hv = Hm - 17m$ .
- Le 7 juillet :  $Hm = Hv$
- Le 31 octobre,  $Hm = Hv - 13,8\ m$  ou  $Hv = Hm + 13,8m$ <sup>17</sup>.

Ces mesures précisent le rôle des marques en saillie. Elles indiquent l'azimut du Soleil à 2 heures vraies, heure qui diffère du temps régulier des calendriers. Le principe de cette différence est étudié sous le nom *d'équation du temps*  $E$ <sup>18</sup>. Le temps solaire est irrégulier, le temps de nos montres, le temps des éphémérides ou le temps des sabliers et des clepsydes est un temps moyen et régulier, un temps mathématique construit. Ce phénomène était connu des anciens astronomes et l'on en trouve un développement important dans *la Composition Mathématique* de Claude Ptolémée<sup>19</sup>.

<sup>15</sup> Le fait qu'une seule partie du disque soit graduée, échappe totalement tant à U. GLESSMER and M. ALBANI, "An Astronomical...", qu'à J. BEN-DOV, "The Qumran Dial: Artifact" qui n'ayant pas remarqué les marques en saillie écrit, "In the Qumran dial, however, the entire circle is graduated. Moreover, there are no markings on the circle that would indicate the parts actually covered by the shadow", 219.

<sup>16</sup> Voir la note 11.

<sup>17</sup> <http://www.imcce.fr> (IMCCE). On pratique comme dans le cas du 9 février.

<sup>18</sup> Pour l'équation du temps D. SAVOIE, *La gnomonique*, 41-62. L'auteur donne en particulier un tableau des valeurs de  $E$  entre  $-1000$  et  $2000$ , 51. Voir *ibid*, 455 : « calcul de l'équation du temps ».

<sup>19</sup> Claude PTOLÉMÉE, *Composition mathématique*, trad. de M. HALMA suivie de notes de M. DELAMBRE, Henri Grand, Paris, 1813, 1968, 206-210. Voir Oscar NEUGEBAUER, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, Part one, "Equation of Time", 61-68.

Ainsi après vérification, on obtient un tableau complet des marques relevées sur les couronnes  $C_2$  et  $C_5$  et des relations entre  $E$  (équation du temps) et l'azimut du Soleil à 2 h vraies

	9/02	11/04	21/05	7/07	3/08	28/08	31/10	16/12
$H_v$	2 h	2 h	2 h	2 h	2 h	2 h	2 h	2 h
$H_m$	2 h 17,5 m	2 h	1 h 52,6 m	2 h	2 h 2,9 m	2 h	1 h 46,6 m	2 h
$a$	215,9°	235,6°	253,4°	259,6°	251°	239,4°	216,9°	211,2°
$a'$	54,1°	34,37°	16,59°	10,43°	19,03°	30,58°	53,08°	58,8°

Tableau 5 : Azimuts du Soleil à 2 h vraies et équation du temps

Une fois relevées ces marques significatives, on peut procéder à l'examen de la totalité des marques du tableau 2 des trois couronnes  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_5$ . Toutes sans exception indiquent un azimut du Soleil pour 2 h vraies<sup>20</sup>.

La correspondance des marques du disque entre *l'équation du temps* et les azimuts du Soleil à 2 h vraies autorisent maintenant à tirer quelques conclusions touchant l'utilisation de cet objet.

- a – La finalité du disque est bien d'ordre astronomique, ce qu'atteste la représentation de l'équation du temps par des azimuts particuliers du Soleil distribués autour de 2h dans le premier quart du disque. L'équation du temps ne peut figurer qu'en contexte astronomique. Elle n'a pas d'autre usage.
- b – Les graduations en saillie indiquent un autre point important du fonctionnement du disque. Parlant d'instrument astronomique, de marque des azimuts et des heures, il s'agit alors d'une forme de cadran solaire. Si de plus ces graduations sont relatives à des heures et à des azimuts et cela en même temps (tous les azimuts sont relevés pour 2 h), alors la question d'un gnomon doit être reformulée.

On ne peut baser une analyse de départ sur un « gnomon », ou un style droit de 8 mm de diamètre comme on le trouve chez J. Ben Dov, mais encore dans des représentations du *Musée d'Isaël*<sup>21</sup>. Partant de *l'a priori*

<sup>20</sup> Voir P. TAVARDON, *Le disque de Qumrân*, 108, 111-112, 121

<sup>21</sup> Voir J. BEN-DOV, "The Qumran Dial" 213, "It contains a non-penetrating socket in its center, probably meant for a gnomon (8 mm in diameter). The dial is of a slightly concave form, like a saucer, but the concavity is not nearly as deep as in the Greek hemispherical or conical dials".

d'un gnomon de 8 mm, on conclut à l'impossibilité de parler d'un instrument astronomique, les graduations et les espacements étant trop fins pour le gnomon dont on a posé par avance la largeur<sup>22</sup>. Il est clair alors que l'argument peut se renverser, des graduations fines nous conduisent à un style d'un diamètre proportionnel et adéquat.

Mais ces marques dès lors appelées gradations qui sont relatives à des heures (2h par exemple) mais aussi à des azimuts permettent de traiter plus efficacement de la question du style porté par *le disque*.

Il est maintenant possible d'orienter la figure 1. La ligne des ordonnées ( $y$ ), doit se confondre avec le méridien du lieu à savoir de Qumrân, N indiquant le Nord et S le Sud. La marque en forme de  $\Phi$  renversé indique l'Est et l'origine de la mesure des angles. Elle se situe sur l'axe des abscisses. ( $x$ ). Toutes les graduations en saillie sont rassemblées sur le 1<sup>er</sup> quart situé après midi vrai, N.

Parler de gradations marquant les azimuts du Soleil, suppose l'existence d'un style droit. Mais avec l'indication des heures, on doit aussi admettre l'existence d'un style polaire<sup>23</sup>. Ainsi les graduations en saillie des couronnes  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_5$ , qui articulent azimuts et heures, nous conduisent à poser l'existence d'un style triangulaire (figures 3 et 4).

### 1.1.3. *Les sillons (figures 1 et 2)*

Les sillons se répartissent en quatre catégories.

$S_1$  et  $S_2$  : sillons larges et profonds (figure 8).

$S_3$  et  $S_4$  : simples marques dessinées sur la surface du disque.

$S_5$  : sillon légèrement plus large et profond que  $S_3$  et  $S_4$ .

Enfin,  $S_6$  constitue la base de la couronne  $C_7$  qui, elle-même, fait un angle de  $45^\circ$  avec le plan horizontal.

Les sillons modifient la régularité de la surface du disque. Leurs tracés, par le constructeur, ne sont certainement pas accidentels et l'on peut déjà émettre l'hypothèse qu'ils répondent comme les couronnes à une finalité à découvrir. Les sillons permettent de distinguer pour chaque couronne une limite intérieure plus proche du centre et une limite extérieure. Ainsi pour la couronne  $C_2$  on distingue  $C_{2int}$  et  $C_{2ext}$ . Les sillons  $S_1$  et  $S_2$  marquent les limites de la couronne.

<sup>22</sup> *Ibid.* 219, "It should be pointed out at this stage that several material traits of the dial do not conform to its use as a sundial. The following problems merit special attention: 1. The graduation marks are very fine and too close to each other when compared with the width of the gnomon".

<sup>23</sup> Voir D. SAVOIE, *La gnomonique*, 131-138.

### 1.2. Mesure du style triangulaire (figures 3 et 4)

Jonathan Ben-Dov signale, sans en tirer toutes les conséquences, la concavité du disque<sup>24</sup>. L'hypothèse de l'eau servant à orienter et à caler l'instrument est certes possible, mais elle n'est ni première ni fondatrice, bien que non contradictoire avec notre hypothèse<sup>25</sup>. Là encore l'absence de mesure conduit à des approximations.

La concavité du disque est très précise. Il s'agit d'un cône renversé dont on peut mesurer les dimensions. Un moulage exécuté sur l'original a permis d'obtenir des mesures précises et déterminantes. En théorie, on peut dire que la surface du disque est un cône de révolution. Il peut être généré simplement par la rotation d'une droite OK passant par O autour d'un axe ON différent de OK. La génératrice du cône est d'une longueur de 75 mm et fait un angle fixe de valeur =  $76,43^\circ$  avec l'axe de rotation. L'inclinaison par rapport à l'horizontale constitue un angle  $\omega$  d'une valeur de  $13,57^\circ$ <sup>26</sup>.

#### 1.2.1. Le style droit<sup>27</sup>.

En posant  $\varphi = 31,5^\circ$  (latitude de Qumrân),  $\varepsilon = 23,7^\circ$  (obliquité de l'écliptique année 0),  $\omega = 13,57^\circ$  (inclinaison du disque) et  $R =$  apothème du cône = 75 mm, on obtient :

$$L = \text{hauteur du style droit} = 68,27 \text{ mm}$$

#### 1.2.2. Le style polaire

fait un angle égal à la latitude du lieu avec la ligne de midi, c'est-à-dire avec le méridien. Il pointe vers le nord géographique<sup>28</sup>.

#### 1.2.3. Les ombres hyperboliques (figure 7).

La concavité du disque présente comme autre conséquence celle de la forme des ombres sur sa surface. Les ombres d'un style oblique sur un

<sup>24</sup> Voir. J. BEN-DOV, *Dial*, 213, "The dial is of a slightly concave form, like a saucer."

<sup>25</sup> De même. "Glessmer and Albani (Henceforth:GA) plausibly suggested that the form of a saucer was intended to contain water, used for horizontal adjustment of the object when laid on a flat surface"

<sup>26</sup> Voir. P. TAVARDON, *disque.*, 40-43. En posant  $h_1$  hauteur du Soleil au solstice d'hiver,  $h_2$  hauteur du Soleil à l'équinoxe,  $h_3$  hauteur du Soleil au solstice d'été, nous avons  $\text{tg } \omega = 2[(\text{tg} h_2) / 2 - 2 \text{tg} h_1]$ . Et  $L = R [\text{th} h_1 \cos \omega] + \sin \omega$  avec  $R = 75 \text{ mm}$ . On pourra encore déduire la hauteur du style en fonction de  $\varphi$  la latitude du lieu et  $\omega$  l'inclinaison de l'écliptique :

$$L = R [(\cos \omega) / (\text{tg}(\varphi + \omega)) + \sin \omega]$$

<sup>27</sup> *Ibid.*

<sup>28</sup> Voir D. SAVOIE, *gnomonique*, 131. Le bec triangulaire sera composé du style oblique PN coupant le style droit ON à son sommet N. et de la base OP rejoignant la base du style droit O à la base du style oblique P. Nous aurons  $\text{OPN} = \varphi + \omega = 45,07^\circ$ .  $\text{PNO} = 90^\circ - \varphi = 58,5^\circ$ .  $\text{NOP} = 90^\circ - \omega = 76,43^\circ$ .

plan sont des droites, mais ici il s'agit d'ombres sur une surface conique (intérieur d'un cône). Ces ombres comme nous le montrons sont des branches d'hyperboles (figure 3)<sup>29</sup>.

La forme conique du disque et les couronnes expliquent l'absence totale d'inscriptions, question que pose Jonathan Ben-Dov : « A serious question remains: how were full hours measured? »<sup>30</sup>

Le détail du mouvement de l'ombre et l'indication des heures nécessiteraient une étude détaillée dont on ne donne ici que le principe<sup>31</sup>. L'heure est indiquée par le point de tangence de l'ombre des hyperboles et de chacune des couronnes intérieures ou extérieures. Mais ceci n'est possible que par le fait que les ombres sont hyperboliques<sup>32</sup>. Si l'on appelle  $\beta$  l'angle que fait l'ombre avec l'axe des  $y$ , axe du méridien (axe de midi vrai), nous avons des relations différentes pour une surface plane et une surface conique telle qu'on l'a décrite.

Avec  $R$  = apothème du cône  $\omega$  : inclinaison,  $L$  : hauteur du style droit  $\varphi$  = latitude du lieu,  $H$  = angle horaire.

Surface plane	Surface conique
$\text{tg } \beta = \sin \varphi \text{ tg } H$	$\text{tg } \beta = -y / x$ avec $y = R'^2 \text{ tg } \varphi / (\pm R' \text{ tg } \omega - L)$ $\text{tg } \varphi (R'^2 / y) = \pm R' \text{ tg } \omega - L$
$\text{tg } H = \text{tg } \beta / \sin \varphi$	$x^2 = R'^2 - y^2 \rightarrow x = (R'^2 - y^2)^{1/2}$ et $\omega = 13,57^\circ$ $L = 68,27 \text{ mm}$ $\varphi = 31,5^\circ$ $R' = R \cos \omega$ $\text{tg } H = \text{tg } \beta / \sin \varphi$

Le tableau suivant montre la correspondance entre le rayon des couronnes et l'angle horaire  $H$ . ( Les étapes du calcul,  $R_x$ ,  $R'_x$ ,  $\beta^\circ$ ,  $H$  en degré et  $H$  en heure sont indiqués).

Ainsi quand l'ombre de l'hyperbole est tangente à  $C_3$ int il est 2 h vrai au Soleil.<sup>33</sup>

<sup>29</sup> Voir. P. TAVARDON, *disque*, 66-67. l'équation de la projection de l'ombre dans le plan horizontal :

$L^2 [1 - (\text{tg } \varphi / L \text{ tg } \beta)x + (\text{tg } \varphi / L)y]^2 = (x^2 + y^2) \text{tg}^2 \omega$ . Ces ombres sont dépendantes de  $L$ , la hauteur du style, de  $\varphi$  la latitude du lieu et de  $\omega$ , l'inclinaison.

<sup>30</sup> Voir. J. BEN-DOV, "The Qumran Dial" 232.

<sup>31</sup> Voir. P. TAVARDON, *disque.*, 65-73.

<sup>32</sup> Voir. figure 7.

<sup>33</sup> *Int* et *ext.* désigne le coté intérieur (le plus près du centre, plus petit rayon) et le coté extérieur de la couronne (plus grand rayon).

Couronnes	$R_x$ (mm)	$R'_x$ (mm)	$\beta^\circ$	$H^\circ$	$H$ (h)
C <sub>2int</sub>	15	14,58	7,93	14,93	1 h
C <sub>3int</sub>	30	29,16	16,97	30,28	2 h
C <sub>4int</sub> Eq.	37,5	36,45	22,06	37,8	2 h 30
C <sub>5ext</sub>	45	43,74	27,68	45,11	3 h
C <sub>7int</sub>	60	58,33	42,2	60,05	4 h
C <sub>8ext</sub> S.h.	75	72,91	61,84	74,38	4 h 58

Tableau 6 : Angles horaires indiqués par les couronnes

L'ombre se déplace sur la surface conique en coupant successivement les sillons et les couronnes. On a réalisé une étude du mouvement de l'ombre aux environs de 2 h (heure remarquable du disque) sur une maquette 3D du disque adaptée aux coordonnées et aux variations de paramètres du fait des 2000 ans écoulés (figure 4). On a pu relever ceci :

L'ombre oblique traverse la couronne C<sub>2</sub> en 45 min. À 1 h 45 min elle est tangente à C<sub>2ext</sub> ( $R = 26,25$  mm,  $R' = 25,5$  mm). Elle entre dans le sillon S<sub>2</sub> et y demeure 15 min. Elle coupe C<sub>3</sub> en deux points M et N. La longueur du segment brisé, MN diminue progressivement et à 2 h ( $R = 30$  m,  $R' = 29,2$  m) l'ombre est tangente à C<sub>3int</sub>. (figure 8)

On souligne trois points :

Les indications données par *le disque*, aux environs du méridien, sont les moins entachées d'erreur d'observation, en particulier pour la zone de pénombre du style<sup>34</sup>. On a avec les deux couronnes (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>) et les deux sillons (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>), des indications de temps précises : 15 min (S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>), 30 min (C<sub>1</sub>), 45 min (C<sub>2</sub>).

Enfin et surtout, l'alternance des sillons (ombres brisées) et des couronnes (ombres droites) permet une plus juste appréciation de la lecture exacte des heures. Ainsi s'éclaire la fonction des sillons gravés sur *le disque* et la profondeur remarquable de S<sub>2</sub> (figure 8) :

Il est ainsi possible de définir sur *le disque* un ensemble entièrement destiné à donner la différence entre le temps régulier et le temps solaire. Les trois couronnes C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>5</sub> qui donnent les indications de l'ombre d'un bec triangulaire sur une surface conique, à savoir les azimuts du Soleil relatifs au maximum et minimum de l'équation du temps pour une heure donnée : 2 h. Les azimuts particuliers étant marqués par des graduations

<sup>34</sup> Voir D. SAVOIE, *gnomonique*, pour l'étude de la pénombre dans les cadrans solaires, 481-490.

en saillie et les heures par les points de tangence des ombres avec les couronnes ou les sillons. Le système couronnes-sillons avait pour finalité une lecture plus précise du mouvement de l'ombre.

Mais une question s'impose. Comment fonctionnait ce système et quelle était sa finalité ? Quand les graduations en saillie correspondent toutes à des points remarquables de l'équation du temps de l'époque. Il faut supposer que les valeurs étaient connues et relevées. Ainsi le 9 février année 0 à 2h (ombre hyperbolique), le style droit indique une graduation en saillie, un azimut de 216°. Graduation remarquable sur les quatre indiquées sur la couronne C<sub>2</sub>. Le fait que cette graduation ait été marquée implique que sa signification était connue. Ce jour-là, il y avait une différence de 17,5 mm entre le Soleil vrai et le Soleil moyen.

$$T_m = T_v + E$$

Pour 2h au Soleil le temps régulier était de 2h 17,5 min. Si cela est significatif aujourd'hui entre temps du Soleil et temps de nos montres, quel était le sens de cette distinction et son utilité dans le contexte de Qumrân ?

Les graduations en saillie distribuées selon les valeurs de l'équation du temps suffisent à établir l'utilisation d'une correction du temps solaire vrai. Si l'on se reporte à la description précise qu'en donne Ptolémée dans la *Syntaxe mathématique* au chapitre VIII du livre III<sup>35</sup>, nous retrouvons ce que nous savons aujourd'hui de l'équation du temps. Seul est réel le temps irrégulier du Soleil. Le temps moyen est basé sur le déplacement à vitesse constante d'un Soleil fictif au cours de l'année. C'est donc un temps construit. Si l'on ne peut établir que les gens de Qumrân connaissaient le principe de l'équation du temps, la présence de l'instrument atteste cependant qu'ils en connaissaient l'utilisation. Ptolémée indique précisément le seul usage de l'équation du temps : *Cette différence négligée pour le Soleil et les autres astres ne nuirait pas sensiblement aux observations ; mais si on la négligeait pour la Lune, elle deviendrait bientôt considérable, 3/5 d'un degré, à cause de la célérité de son mouvement*<sup>36</sup>. Ce qui est aujourd'hui encore clairement exprimé par Denis Savoie<sup>37</sup>.

<sup>35</sup> PTOLÉMÉE, *Syntaxe mathématique*, édition Halma, 206.

<sup>36</sup> PTOLÉMÉE, *Syntaxe*, 209.

<sup>37</sup> D. SAVOIE, « L'aspect gnomonique de l'œuvre de Fouchy : La méridienne de temps moyen », *Revue d'histoire des sciences*, 2008/1 (Tome 61), p. 41-62. Et Edward S. KENNEDY, 'Two medieval approaches to the equation of time', *Centaurus*, 31 (1988), 1-8. *L'usage de l'équation du temps dans l'Antiquité, puis pendant l'âge d'or des sciences arabes répond à un besoin essentiel : réduire un intervalle de temps exprimé en temps solaire vrai en temps solaire moyen. Si un astronome observe une éclipse ou l'instant du passage au méridien d'une étoile, il mesure les instants du phénomène en temps solaire vrai, indiqué par les cadrans solaires. Pour utiliser par la suite son observation dans la construction d'une théorie du*

Il est certain que le seul usage possible de l'équation du temps portait sur le mouvement de la Lune, ce qui, comme on le verra, est bien en accord avec la littérature astronomique retrouvée à Qumrân.

### 1.3. Le calendrier

On a considéré jusqu'ici les possibilités du disque de corriger le temps solaire. Si l'instrument était susceptible d'indiquer les variations de l'équation du temps pour tous les jours de l'année, il faut supposer qu'il était en mesure d'indiquer aussi de quel jour de l'année il s'agissait. Là encore ce sont les graduations en saillie qui conduisent à poser la nécessité d'un calendrier fixe.

Revenons à la couronne  $C_7$  et aux les valeurs statistiques trouvées plus haut pour  $k$  et  $n$

$$3,91^\circ \leq k \leq 4,56^\circ$$

$$79 \leq n \leq 92$$

On a<sup>38</sup> pour  $n = 91$ ,  $k = 3,956^\circ \approx 3,96^\circ$ . Dans cette hypothèse chaque intervalle n'a de sens que par sa valeur ordinale<sup>39</sup>. Dans l'optique de Qumrân,<sup>40</sup> les 91 intervalles de la couronne  $C_7$  peuvent représenter trois mois d'un calendrier de 364 jours, deux mois de 30 jours et un mois de 31 jours. L'inclinaison prononcée de la couronne pouvait faciliter la fixation d'une marque que l'on déplacerait manuellement chaque jour. Une année ferait quatre tours complets soit 364 jours.

Quand on connaît les calendriers perpétuels ou les calendriers fixes ont perçoit facilement dans ce calendrier essénien un calendrier de ce type. Une année de 364 jours compte exactement 52 semaines. Il peut ainsi débiter toujours le même jour et les fêtes et autres événements peuvent être placés toujours le même jour de l'année. Voir : . *Hénoch LXXI*, 12<sup>41</sup>.

*mouvement de l'astre, il faut convertir l'instant exprimé en temps vrai en temps moyen. Pratiquement, cela n'est vraiment important que pour la Lune : l'équation du temps atteignant au maximum 17 minutes en valeur absolue, la variation de longitude du Soleil ou des planètes est négligeable pendant cet intervalle*

<sup>38</sup> Rappelons que  $k$  (en degré) = la valeur d'un espacement entre les graduations de la couronne  $C_7$  et  $n$  = nombre de graduations.

<sup>39</sup> Si la couronne  $C_7$  avait été tracée avec précision, elle comporterait 91 intervalles de  $3,956^\circ$  chacun très précisément. Mais du fait que seul le nombre des intervalles a valeur, l'imprécision du tracé ne prête pas à conséquence.

<sup>40</sup> A. JAUBERT, *La date de la Cène : Calendrier biblique et liturgie chrétienne*, Études bibliques, Gabalda, Paris, 1957. et *D.B.Sup.*, Qumrân, Mathias DELCOR, *Les calendriers*, col. 958-960. Pour le calendrier perpétuel Voir Paul COUDERC, *Le calendrier*, Que sais-je, PUF, Paris, 2000, 100.

<sup>41</sup> On se référera à l'*Introduction* de l'édition du livre d'*Hénoch* dans l'édition de la Pléiade : *Le Soleil et les astres produisent des années exactes conformes entièrement à leur position*,

L'année solaire tropique étant d'environ 365,25 jours, peut-on trouver sur *le disque* une correspondance entre ce calendrier de 364 jours et le mouvement annuel du Soleil ? Les équinoxes et solstices permettent un repère fixe par rapport à l'année solaire<sup>42</sup>. Pour traiter de la marque des équinoxes sur la surface du disque, il faut revenir à la graduation en saillie notée 3, (3a-3b) dans le tableau 2<sup>43</sup>.

La graduation en question est la graduation 3b de C<sub>2</sub>. L'azimut du Soleil : (figure 2, indiquée par un signe + de couleur noir)

$$a \text{ est de } 228^\circ (\rightarrow a' = 42^\circ, a'' = 48^\circ).$$

Le 22 mars était le jour de l'équinoxe de printemps<sup>44</sup>. On peut voir que pareillement, pour le 25 septembre, jour de l'équinoxe d'automne, le 24 juin jour du solstice d'été et le 22 décembre jour du solstice d'hiver des graduations en saillie indiquent l'azimut du Soleil pour 2h<sup>45</sup>.

La marque de l'équinoxe de printemps se trouve renforcée et confirmée par une autre indication, celle de la date de Pâques. On se reportera plus haut, à la liste des graduations en saillie<sup>46</sup>. La première graduation est indiquée sur le tableau 2, couronne C<sub>2</sub> :  $-6^\circ \rightarrow a = 276^\circ$ . On la retrouve sur la couronne C<sub>3</sub>. Ces deux graduations ne figurent pas dans les graduations qui sont fonction de l'équation du temps. Enfin, cette même marque se retrouve tangente au signe  $\Phi$  de la couronne C<sub>4</sub>. (Figure 2)

*éternellement, sans avance ni retard d'un seul jour. Ils changent l'année avec une exactitude rigoureuse. Chaque année est de trois cent soixante-quatre jours (soit) pour trois ans, mille quatre-vingt-douze jours, pour cinq ans, mille huit cent vingt jours, si bien que huit ans comptent deux mille neuf cent douze jours.* André CAQUOT, Marc PHILONENKO, *La Bible Ecrite intertestamentaires, Introduction générale*, Bibliothèque de la Pléiade, Gallimard, Paris, 1987., LXXVII, voir *I Hénoch*, LXXIV, 12-13, 558-559. Voir, *ibid.*, Psaumes pseudo-davidiques, XXVII, 4-6, 330-331 : *Et il écrivit des psaumes (au nombre de trois mille six cents ; et des chants à chanter devant l'autel pour l'holocauste du sacrifice perpétuel pour chaque jour, pour tous les jours de l'année (au nombre de) trois cent soixante-quatre.*

<sup>42</sup> P. TAVARDON, *disque.*, « la marque des équinoxes », 139.

<sup>43</sup> Cf. *supra*. tableau 2

<sup>44</sup> C'est cette graduation fortement inclinée en 3a-3b de la couronne C<sub>2</sub> qui permet de repérer la marque de l'équinoxe. Il s'agit de deux graduations en une seule. Pour les années : - 135, 0, 135, les Ephémérides donnent les dates suivantes pour les équinoxes de printemps : Printemps 23 mars - 135 à 23 h 6 m UT, Printemps 22 mars 0 à 15 h 52 m UT, Printemps 22 mars 135 à 9 h 0 m UT, Pour chacune des trois dates de cette période le Soleil, à 2 h à Qumrân, atteindra un azimut de : (Année - 135 :  $a = 227^\circ 30'$ , Année 0 :  $a = 227^\circ 37'$ , Année 135 :  $a = 227^\circ 47'$ ). Compte tenu des limites de précision de l'instrument on peut dire que l'azimut observé était de  $228^\circ$ . C'est cette valeur qui est indiquée sur la couronne C<sub>2</sub> par la graduation 3b.

<sup>45</sup> P. TAVARDON, *disque.*, 139-140. 25 septembre, graduation n° 4, couronne C<sub>3</sub>. 24 juin, graduation n° 1, couronne C<sub>2</sub>. 22 décembre, La graduation en saillie  $a' = 59^\circ$  figure sur C<sub>5</sub>, C<sub>3</sub> et C<sub>2</sub>.

<sup>46</sup> Voir Tableau 2.

Plus significatif encore, au niveau de la couronne  $C_6$ , (où l'on ne trouve que des graduations en creux, fonctions de l'azimut du Soleil), on peut cependant remarquer un signe en forme de «  $N$  » reliant les graduations indiquant  $-6^\circ$  et  $-10^\circ$ , ou si l'on préfère :  $a = 276^\circ$  et  $a = 280^\circ$  (figure 2)<sup>47</sup>. Il se trouve que cette valeur de  $276^\circ$  correspond à l'azimut du coucher du Soleil le 4 avril 41. Si on pose le jour de l'équinoxe de printemps le 22 mars comme 1<sup>er</sup> jour du 1<sup>er</sup> mois, le 4 avril correspond bien au 14<sup>e</sup> jour du 1<sup>er</sup> mois : jour qui, dans le calendrier essénien correspond à la Pâque. La marque en forme de «  $N$  » indiquerait le 15 du mois de Nisan<sup>48</sup>.

### 1.3.1 *Dérive et mise à jour*

Ainsi apparaissent clairement les articulations du calendrier essénien et du calendrier solaire. La couronne  $C_7$  porte les 364 jours d'un calendrier perpétuel, Le 22 mars 41 (équinoxe de printemps) est un mercredi et il correspond au 1<sup>er</sup> jour d'un premier mois dans le calendrier essénien, le 1<sup>er</sup> de Nisan. Le calendrier essénien, comptant 364 jours, une dérive était alors à prévoir par rapport au mouvement du Soleil. Si pour l'année 41, le 1<sup>er</sup> jour du premier mois d'une année d'un calendrier vague de 364 jours correspond avec l'équinoxe de printemps, il n'en sera plus de même pour les années suivantes de sorte que par exemple pour l'année 48, le mercredi 1/I, premier jour de l'année, tomberait alors le 13 mars, soit 9 jours avant l'équinoxe. Il suffisait de faire correspondre les deux calendriers : le solaire et l'essénien au moyen d'une correction.

Cela est mathématiquement possible en intercalant un jour blanc non compté entre le 31 du mois XII et le 1<sup>er</sup> du premier mois et deux jours blancs non comptés tous les 4 ans. On rattraperait ainsi le décalage entre 364 jours et 365,25 jours.

Cela se pratiquait-il ? Il est difficile de le savoir. Mais il est certain en revanche que si cela ne se faisait pas, l'instrument serait devenu très vite inutilisable du fait d'une dérive de l'ensemble des valeurs des graduations en saillie. Sans un accord entre le calendrier de 364 jours et le mouvement du Soleil les valeurs fonctions de l'équation du temps et par conséquent du mouvement du Soleil noté sur les couronnes subiraient un décalage progressif quant à leurs dates. Aussi c'est encore l'utilisation de l'équation

<sup>47</sup> Voir figure 2, le  $N$  est entouré d'un cercle blanc.

<sup>48</sup> Voir P. TAVARDON, *disque.*, 137. On peut en effet vérifier que l'angle situé entre la marque de l'équinoxe (couronne  $C_2$ , marque 3b,  $42^\circ$ ) et la marque de la date de Pâque ( $C_2 = -6^\circ$ ) atteint une valeur totale de  $48^\circ$ . En comptant  $3,96^\circ$  pour un intervalle de  $C_7$ , nous sommes dans le 13<sup>e</sup> intervalle à compter du premier jour de l'année. Les deux barres « // » du signe  $N$  indiquent par conséquent le 14 et le 15 de Nisan le jour de la Pâque (le jour étant compté à partir du coucher du Soleil)

du temps qui nous conduit à poser la correction annuelle du calendrier de 364 jours.

#### 1.4. Signes particuliers

D'autres signes peuvent encore être mis en évidence sur *le disque*. Pour mention, on renvoie le lecteur à notre publication. Ces signes viennent consolider notre hypothèse sur plusieurs de ses aspects.

##### 1.4.1. *Le bec triangulaire*

On peut relever une marque en creux sur la couronne  $C_5$  qui ne comporte que des marques en saillie. Cette marque en creux se situe exactement sur l'axe du méridien (axe des  $y$ )<sup>49</sup> plein sud. Cette marque permet de supposer une sous-stylaire : correspondant à la projection d'un style oblique sur *le disque*. Dans le même sens, on remarque une marque tangente au sillon  $S_2$  sur la gauche du disque, qui peut très bien correspondre à l'encrage du style<sup>50</sup>. (Figure 1).

##### 1.4.2. *Les « rayures »*

Un examen plus fin de la couronne  $C_2$  révèle une autre catégorie de « rayures » en apparence plus désordonnées, gravées et plus fines. (Figure 2)<sup>51</sup>. Elles n'apparaissent que sur la couronne  $C_2$  et sont tracées à partir de  $C_{2int}$  vers  $C_{2ext}$ . Précisons (cela peut se calculer) que l'ombre hyperbolique est tangente à  $C_{2int}$  à 1h<sup>52</sup>. Les *rayures* de la couronne  $C_{2int}$  ne peuvent correspondre à des marques d'azimut. Elles s'étendent sur les quarts I et IV du disque et sont sans relation avec les deux couronnes indiquant les azimuts, couronnes  $C_4$  et  $C_6$ . De plus les orientations des *rayures* sont diverses. Ce qui importe en revanche, c'est le point qu'elles indiquent sur la couronne  $C_{2int}$ . De 0 h à 1h, l'ombre hyperbolique coupe en deux points cette couronne. Aussi on en conclue (après mesures) que ce parcours de l'ombre de 0h à 1h se trouve être divisé en petite unité de temps de 4 min. La présence d'un style oblique reste la seule explication de ces rayures qui relèvent de coordonnées horaires et non horizontales. S'il reste difficile de justifier la nécessité de ces petites quantités de temps, on en verra plus loin toute l'importance.

<sup>49</sup> A  $270^\circ$  du signe en forme de  $\Phi$  soit  $180^\circ$  de midi du Soleil.

<sup>50</sup> Voir : figure 1

<sup>51</sup> Voir figure 2, les rayures sont indiquées par des « noires.

<sup>52</sup> Cf. *supra*.

1.4.3. *L'analemme*<sup>53</sup>

Cette étrange marque sur le bord du disque n'est pas accidentelle. Elle constitue une entaille soigneusement tracée et sur laquelle est dessiné un double triangle. Il s'agit certainement d'une indication de fabrication de l'instrument et surtout d'un descriptif de ses proportions et qui en rendait possible la duplication. L'analemme permet de connaître la profondeur du disque  $\omega$  et la hauteur du style  $L$  ainsi que le tracé des couronnes pour la latitude du lieu. On peut en conclure à la possible existence d'autres exemplaires du même format.

1.4.4 *La marque du temps, le «  $\text{ז}$  »*<sup>54</sup>

Sur le dos du disque. En ce qui concerne la datation de la gravure, on reprendra la conclusion de l'analyse d'Émile Puech « *Autant qu'on puisse en juger par une seule lettre incisée au dos du "disque", il me paraît que ce tracé du  $\text{ז}$  est certainement antérieur à la fin du 1<sup>er</sup> siècle avant Jésus-Christ : il peut être attribué à l'époque hasmonéenne ou début hérodienne au plus tard.* »<sup>55</sup>. On reviendra sur l'importance de cette datation.

1.4.5. *En résumé*

« *Le disque de pierre* » apparaît comme un petit cadran ayant pour finalité de déterminer la différence entre le temps vrai du Soleil et le temps moyen d'un Soleil fictif se déplaçant d'un mouvement régulier. La petite taille de l'objet confirme la thèse qu'il ne s'agit pas d'un cadran visant à calculer les déclinaisons et les hauteurs du Soleil. Dans ce cas le cadran serait plus grand. De plus il est possible de le déplacer. Le calendrier de la colonne  $C_7$  et la marque des équinoxes, des solstices et de la Pâque permettent de fixer les jours. L'ombre oblique du style donne les heures et le style droit les azimuts du Soleil. Tout est centré sur 2 heures du

<sup>53</sup> Voir P. TAVARDON, *disque.*, 175.

<sup>54</sup> *Ibid.* 164.

<sup>55</sup> La lettre  $\text{ז}$  nous permet de faire une relation avec le terme  $\text{זמן}$  (le temps). Ce mot est utilisé par exemple vingt-six fois à la suite dans le livre de Qohéleth (3:2 et suivants) pour indiquer ce temps qui se succède égal à lui-même. Qoh 3:2 *un temps ( $\text{זמן}$ ) pour enfanter et un temps ( $\text{זמן}$ ) pour mourir...* Le terme est aussi utilisé pour caractériser les temps mystérieux scrutés par les astrologues - astronomes de l'époque : dans le livre d'Esther 1:13 *Alors le roi s'adressa aux sages qui avaient la connaissance des temps ( $\text{זמנים}$ )*. On trouve aussi assez souvent le terme  $\text{זמן}$  dans la littérature de Qumrân. On relève un passage de l'*Ecrit de Damas*, X, 14-17, qui met en relation le mouvement du Soleil, l'observation et le sabbat : *Au sujet du sabbat, qu'on l'observe selon l'ordonnance le concernant. Qu'on ne fasse aucun ouvrage le sixième jour à partir du moment ( $\text{זמן}$ ) où le disque du Soleil est éloigné en sa plénitude de la porte où il se couche ; car c'est ce qu'il a dit : Observe le jour du sabbat pour le sanctifier.* Cf. *Ecrits intertestamentaires*, 171.

Soleil à Qumrân, temps pour lequel sont tracées en saillie, sur le premier quart du disque, des graduations donnant le mouvement de l'équation du temps.

Trois questions vont ouvrir la seconde partie de cette étude.

Comme l'avait préconisé Ptolémée, l'équation du temps ne fut utilisée dans l'antiquité et le moyen âge qu'en vue de travaux sur le mouvement de la Lune compte tenu de la vitesse de cet astre<sup>56</sup>. La validité du cadran est comprise entre 5h vraie avant midi et 5h vraie après-midi. Jonathan Ben-Dov en conclut qu'il était trop petit de rayon pour un usage astronomique<sup>57</sup>. En effet pour le solstice d'été<sup>58</sup>, le Soleil se lève à 6h 57m (*H*) et se couche à 7h 3m (*H* = heure vraie). Ce qui fait 7h environ avant et après midi. Les ombres hyperboliques ne peuvent indiquer que de – 5h à + 5h compte tenu du rayon du disque. On dira donc que le Soleil se couche deux heures après la validité du cadran. Pour le solstice le coucher du Soleil est à 4 h 55m  $\approx$  5h.

Mais ceci n'infirmes pas l'usage astronomique du disque, mais seulement son usage en vue du calcul des heures du lever et du coucher du Soleil. Car son fonctionnement portait essentiellement sur 2h (toujours éclairé le jour) et sur les azimuts du Soleil à cette heure. Il pouvait ensuite indiquer l'heure jusqu'à seulement 5h vraie. Mais l'important se jouait entre 0h et 1h pour les graduations de 4 en 4 degrés et à 2 h pour les azimuts des points remarquables.

Cependant le fait que *le disque* ait pour finalité une correction de temps vrai en temps moyen et qu'il se limite dans son fonctionnement à + ou – 5 h, pose la question de la conservation du temps. Comment pouvait-on mesurer l'heure d'un quelconque phénomène avant 5h du matin et après 5h du soir. Si l'on pense à un usage destiné au mouvement de la Lune, comment mesurer les levers et les couchers de la Lune, leurs relations au Soleil.

C'est alors que peut se poser l'hypothèse de l'existence de clepsydes susceptibles de conserver le temps<sup>59</sup>. Hypothèse qui est exigée par l'ensemble de ce que nous révèle *le disque*.

<sup>56</sup> Ptolémée, *Syntaxe mathématique*, édition Halma, 206.

<sup>57</sup> J. BEN-DOV, "The Qumran Dial": *The dial is too small. Its size would render it inefficient for the detection of the compass points and the cardinal days of the year...*, 219.

<sup>58</sup> Voir. Site de l'IMCCE, <http://www.imcce.fr>

<sup>59</sup> Avant l'invention de l'horloge mécanique, deux sortes d'instruments sont utilisés pour mesurer le temps. D'un côté, gnomons et cadrans solaires donnent *l'heure qu'il est*, l'heure des astres. De l'autre, sabliers et clepsydes (ou horloges à eau) servent à compter le temps qui passe, le temps qui s'écoule.

## 2. LES CLEPSYDRES À CONDUIT D'ÉCOULEMENT

## 2.1. Description et situation des jarres

Si le « disque de pierre » fut découvert en 1954 par Roland de Vaux<sup>60</sup>, durant la campagne de fouilles de 1953, ce dernier, rapportait dans *la Revue Biblique*<sup>61</sup> qu'il trouva dans ce même *locus* 45 une jarre qu'il classe sous le N° de fouille 800, elle est décrite comme suit : *Grande jarre large ouverture, sans col, lèvres retroussée, deux anneaux annulaires sur l'épaule, base arrondie percée d'un conduit d'écoulement. Terre rouge, grise à la section, couverte blanche à l'extérieur*<sup>62</sup>. C'est l'absence de col et le *conduit d'écoulement* qui constituent pour nous l'originalité et l'intérêt de cette forme de jarre trouvée à proximité du disque. (A1 figure 5).

Quand en 2007, Yitzhak Magen et Yuval Peleg publient un rapport préliminaire des fouilles de Qumrân entre 1993 et 2004<sup>63</sup>, ils donnent une photo d'une autre jarre comportant un *conduit d'écoulement*. (A3 figure 5)

Dans le rapport final<sup>64</sup> sont donnés les détails concernant cet objet et sa provenance : *un locus au sol en plaque de tessons déjà trouvés par de Vaux..... Sous le sol se trouvaient beaucoup de poteries et de récipients, dont un pichet intact trouvé dans la partie sud-est dans le coin de la pièce: une grande jarre avec une ouverture à la base a été trouvée à l'ouest de la pièce.*<sup>65</sup>

Irina Eisenstadt dans ce même rapport consigne que l'on a trouvé trois jarres entières avec *conduit d'écoulement* dans les *locii* 45 et 63<sup>66</sup>. (A savoir : celle découverte par de Vaux (A1 figure 5), et sous le sol plâtré deux découvertes par la mission Y. Magen et Y. Peleg (A3, A4 figure 5) et les fragments d'une autre dans la grotte 13 à 2 km du site<sup>67</sup> (A2, figure 5).

<sup>60</sup> Cf. *supra*.

<sup>61</sup> R. DE VAUX, « Fouilles au Khirbet Qumrân », *R.B.* 1954, 206-256. L'auteur parle d'une *sorte de jarre entonnoir, dont le fond a un goulot d'écoulement...* 217

<sup>62</sup> R. DE VAUX, J.-B. HUMBERT, A. CHAMBON ; *fouilles de Khirbet Qumrân*. Je remercie É. Puech de m'avoir signalé ces objets uniques, les clepsydras que l'étude du disque laissait prévoir.

<sup>63</sup> YITZHAK MAGEN et YUVAL PELEG, *The Qumran Excavations 1993-2004, Preliminary rapport*. (Staff Officer of Archaeology – Civil Administration of Judea and Samaria Jerusalem 2007).

<sup>64</sup> Y. MAGEN, Y. PELEG *et alii*, *Back to Qumran: Final Report (1993-2004)*, Judea and Samaria Publications, Volume: 18, (Published by: Israel Antiquities Authority, Staff Officer of Archaeology – Civil Administration of Judea and Samaria, 2018).

<sup>65</sup> *Ibid.*, L9059, [160]

<sup>66</sup> Irina EISENSTADT, "Qumran Pottery" in Y. MAGEN, Y. PELEG *et alii*, *Back to Qumran: Final Report (1993-2004)*. Q-SJ10B, [187].

<sup>67</sup> Joseph PATRICH, benny ARUBAS", *A Juglet Containing Balsam Oil (?) from a Cave near Qumran*, *Israel Exploration Journal*, (1989) vol. 39, 43-59.

La jarre découverte par R. de Vaux et celle de la grotte 13 sont de la même période. Cette dernière ayant été cachée au moment de la catastrophe de 68. Ces deux jarres présentent d'ailleurs un *conduit d'écoulement* semblable, terminé par un rebord plus large comme le montre la figure 5, A1-A2. Les deux autres jarres mises à jour par les Israéliens, sous le sol plâtré, sont de ce fait antérieures. Elles présentent aussi des *conduits d'écoulement* mais différents de ceux de la dernière période.

## 2.2. L'hypothèse des clepsydras à sable.

L'hypothèse repose sur trois points. Premièrement le fonctionnement général du disque conduit à la nécessité d'un outil susceptible de conserver le temps. Il se trouve que ces jarres qui peuvent fonctionner comme des clepsydras ont été trouvées à proximité du disque. Enfin comme le constate Irina Eisenstadt on en connaît que trois, plus celle qui s'ajoutera avec la grotte 13. Enfin il n'a pas été émis d'hypothèse sérieuse concernant ces jarres à *conduit d'écoulement*.

Mais si l'on pose l'hypothèse d'une clepsydre, une autre question surgit : clepsydre à eau ou clepsydre à sable (sablier). David Brown, John Fermor et Christopher Walker développent longuement la question de l'utilisation de clepsydras en Mésopotamie<sup>68</sup>. Nos auteurs nous préviennent qu'ils n'ont aucune attestation archéologique de ces clepsydras,<sup>69</sup> mais qu'ils se basent sur des textes décrivant les calculs et les mesures données par un instrument nommé *Maltaktum* ; dont ils discutent l'étymologie<sup>70</sup>. L'instrument est bien lié à la mesure du temps, incluant la notion de poids : « *peser le temps* ». Mais l'utilisation de l'eau n'est pas impérative et Von Soden a soutenu la possibilité d'horloges à sable<sup>71</sup>.

Nous avons des attestations claires de l'usage du sable au Moyen-Âge pour des travaux astronomiques. Dans un de ses traités, Al Bīrūnī aborde l'usage de la clepsydre dans le cas d'une éclipse de Lune. Il souligne que la pureté de l'eau n'est pas constante et qu'elle dépend des sources, dont elle provient. Il montre aussi que le contact de l'eau et de l'air a une incidence sur la régularité de la clepsydre, aussi finit-il par énoncer sa préférence pour l'utilisation du sable<sup>72</sup>.

<sup>68</sup> David BROWN, John FERMOR and Christopher WALKER, "The Water Clock in Mesopotamia" *Archiv für Orientforschung*, Bd. 46/47 (1999/2000), pp. 130-148.

<sup>69</sup> *Ibid.* 130.

<sup>70</sup> *Ibid.* 132.

<sup>71</sup> *Ibid.*

<sup>72</sup> Voir Al Bīrūnī, *KitābTaḥdīd Nihāyāt al-Amākin, The determination of the Coordinates of Positions for the Correction of Distances between Cities*, Beirut 1967, reprinted

Il faut cependant préciser que la différence ne consiste pas uniquement dans l'utilisation du sable plutôt que de l'eau. Clepsydre et sablier n'obéissent pas aux mêmes lois. Dans une clepsydre la vitesse d'écoulement varie avec la hauteur de l'eau restante : le débit n'est donc pas constant, plus rapide au début, plus lent à la fin. Le sablier quant à lui est plus stable que la clepsydre, car sa vitesse d'écoulement constante le rend plus pratique pour mesurer les durées intermédiaires entre deux événements.

La clepsydre obéit à la loi de Torricelli<sup>73</sup>

$$D = \sqrt{2gh} \pi R^2 \text{ ou simplement } V = \sqrt{2gh}.$$

Si  $P$  est la pression au bas de la colonne  $P$  est proportionnel à la hauteur  $h$ , et la vitesse est proportionnelle à  $\sqrt{P}$ . La vitesse augmente donc avec la pression au bas de la colonne.

Le sablier ou « clepsydre à sable » ou pour toute substance granulaire obéit à la loi de Beverloo. La hauteur de sable est sans influence sur la vitesse d'écoulement<sup>74</sup>. On obtient<sup>75</sup>

$$D = \sqrt{g} R_2^5 \text{ ou } \sqrt{g} R R^2$$

Si la formule de Torricelli et celle de Beverloo ne se distinguent que par  $h$  et  $R$ , il est clair que  $h$  varie tout au long de la vidange, alors que  $R$  est constant.

#### 2.2.1. Etude de la jarre à conduit d'écoulement (Fouille 1953 du P. de Vaux) : A1 (sur la figure)

On donnera l'ensemble des méthodes de calcul appliquées à la jarre qu'on nommera par facilité (Jarre – R. de Vaux, A1 sur la figure 5). En vue de savoir, si cette jarre peut fonctionner comme une clepsydre à sable, on en calculera le volume.

Frankfurt: Institute for History of Arabic-Islamic Science, 1992, Islamic Geography vol. 26, 155, l. 11...

<sup>73</sup> Pour le détail voir le site *Formules de Physique* : <http://www.formules-physique.com/search> et *Formulaire de physique* : <https://www.sciences.be/ressource/formulaire-de-physique/>  $D$  = débit d'écoulement,  $g$  = accélération de la pesanteur,  $h$  = hauteur de la colonne d'eau.  $R$  = rayon du trou d'échappement. Dans la seconde expression  $V$  = vitesse d'écoulement. Il existe une relation entre le débit volumique et la vitesse d'écoulement  $V = D/S$ . (En respectant les unités,  $D$  en  $m^3.s^{-1}$ ,  $S$  en  $m^2$ ,  $V$  en  $m.s^{-2}$ )

<sup>74</sup> Pour comprendre cette loi : il suffit de regarder la 2<sup>e</sup> formule donnant  $D$  où l'on a séparé  $R^2$  et  $\sqrt{R}$ . La loi de Beverloo est similaire à celle de Toricelli, sauf que la hauteur totale  $h$  a été remplacée par le rayon  $R$  du trou.

<sup>75</sup> En faisant la gravité  $g$  (unité :  $m/s^2$ ) le rayon  $R$  (unité :  $m$ ) du trou.  $D$  le débit (unité :  $m^3/s$ ). On aura un coefficient lié au sable.

Calcul intégral via une interpolation numérique

Dans cette méthodologie on partira d'une coupe longitudinale de la jarre, cf. figure 6. Sachant que la jarre mesure 56 cm de hauteur en réalité, la figure 6 est à l'échelle  $\frac{1}{4}$ . Comme la jarre est un volume de révolution, il faut commencer par déterminer l'équation du profil longitudinal. Pour cela on interpole 9 points en mesurant l'abscisse  $x$  et l'ordonnée  $y$  de chacun d'eux. Le tableau 7 reprend les coordonnées des différents points.

On encode d'abord ces coordonnées dans le logiciel GeoGebra<sup>76</sup>. Ensuite, on utilise la fonction polynôme en lui passant les coordonnées des 9 points comme argument afin qu'il détermine le polynôme qui passe par ceux-ci. Soit  $h$  ce polynôme<sup>77</sup>. Or, comme le montre la figure 6, le profil est relativement régulier.

Points	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
X[cm]	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Y[cm]	0	4,01	12,21	17,56	28,2	37,74	46,41	53,03	56
Points	1,33	9,05	15,28	16,54	17,88	18,75	18,51	11,26	6,45

Tableau 7 : Encodage du profil de la jarre A1 sur Geogebra

Pour calculer le volume de révolution, il suffit d'utiliser la formule suivante :

$$V = \int_0^{0,56} \pi f^2(x) dx$$

Dans Geogebra on pose  $V = \text{Intégrale}(\pi * h^2, 0, 56)$  ( $h$  désignant le polynôme d'interpolation)

On obtient le volume de la jarre (Jarre -R de Vaux)

$$V = 44,9 \text{ soit } \approx 45 \text{ l}$$

### 2.2.2. Loi de Beverloo

La loi de Beverloo va permettre de calculer le débit  $v_s(r)$  (en kg/s) de la jarre (et de tout récipient) à sable (ou à grains) grâce à la relation suivante :

<sup>76</sup> GeoGebra est un logiciel de géométrie dynamique en 2D/3D c-a-d qu'il permet de manipuler des objets géométriques et de voir immédiatement le résultat. <https://www.geogebra.org/?lang=fr>

<sup>77</sup> A ce stade il est important de garder à l'esprit qu'il faut choisir les points des manière judicieuse, c-à-d., ni trop nombreux, ni pas assez. D'une part, si on prend trop de points, le degré du polynôme d'interpolation devient élevé et la courbe oscille de plus en plus fort entre les points. D'autre part, si on ne prend pas suffisamment de points, il est évident que la courbe géométrique ne sera pas correctement représentée.

$$v_s(r) = C\rho\sqrt{g(r - rm)^{5/2}}$$

Avec :

$C$  = constante de compacité<sup>78</sup> elle varie de 0,5 à 0,6 pour le sable

$\rho$  = masse volumique, pour le sable 1400 à 1600 kg/m<sup>3</sup>

$g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$  = constante gravitationnelle

$r = 0,009 \text{ m}$  = rayon du trou de vidange en m dans le cas de notre jarre (9mm)

$r_m = 0,0005 \text{ m}$  = rayon de 1 grain

L'intérêt de cette formule consiste dans le fait que le débit du sable est indépendant de la hauteur de sable restant dans la jarre. Une fois la vitesse obtenue, nous pouvons déterminer la masse de sable qui a été évacué grâce à la relation<sup>79</sup> :

$$M = v_s(r)\Delta t(r) = \text{constante}$$

$$V = 1000M/\rho$$

Le tableau 8 donne le choix des différentes constantes pour  $V = 45 \text{ l}$ .

$V$	<b>45</b>	$l$
$C$	0,6	$l$
$\rho$	1565	$\text{kg/m}^3$
$g$	9,81	$\text{m/s}^2$
$rm$	0,0005	$m$

Tableau 8 : Tableau des constantes (Loi de Beverloo) pour un volume de sable  $V = 45 \text{ l}$

<sup>78</sup> La *compacité* indique le rapport entre la quantité de grain dans un volume donné et le volume total du matériau granulaire. Soit  $C$  la compacité du milieu granulaire:  $C = \text{volume des grains/volume total}$ . En supposant que les grains sont des billes de même diamètre, l'entassement des billes le plus étroitement possible conduit à une structure cubique à faces centrées ou bien à un réseau hexagonal  $c = \frac{\pi\sqrt{2}}{6} = 74\%$ . C'est la valeur maximale que l'on peut obtenir avec des billes de même diamètre. Si l'empilement est aléatoire et statique, cas du sable, on montre que la compacité qui correspond à l'empilement le plus dense (Random-Close Packing) est:  $c = 0,635$ .

Voir pour l'ensemble de la question des sabliers, le cours de Mécanique des matériaux granulaires de Ghilhem MOLLON : [http://guilhem.mollon.free.fr/Telechargements/Mecanique\\_des\\_Materiaux\\_Granulaires.pdf](http://guilhem.mollon.free.fr/Telechargements/Mecanique_des_Materiaux_Granulaires.pdf)

Ghilhem MOLLON, *Mécanique des matériaux granulaires*, INSA, (Institut des Sciences Appliquées, Lyon, 2014-2015).

<sup>79</sup>  $A(r)$  est le temps de vidange qui est fonction du rayon  $r$ . Finalement, le volume est obtenu en divisant la masse  $M$  par la densité du sable et en multipliant par 1000 pour passer de  $\text{m}^3$  à  $\text{dm}^3$ , c-à-d. en litres.

On peut maintenant faire varier le rayon  $r$  de l'orifice de vidange pour relever l'effet entraîné sur le débit de vidange de la jarre. On note la masse de sable écoulee. Les résultats sont intéressants à relever :

V	45	45	45
$M$ [kg]	70,42	70,42	70,42
$r$ [m]	0,009	0,00693	0,005977
$v_s$ [kg/s]	0,019561	0,009736	0,006519
$\Delta t$ [s]	3600,24	7233,54	10802,44
$\Delta t$ [h]	1h	2h	3h

Tableau 9 : Tableau des relations du temps de vidange  $\Delta t$  [h] et du rayon de l'orifice  $r$ [m]

On constate que pour un rayon de 9 mm la jarre de 45l qui contient 70,42 kg de sable aux caractéristiques données ( $C = 0,6$  et  $\rho = 1565\text{kg/m}^3$ ), mettra 1 heure pour se vider, 2 h pour un rayon de  $0,00693 \approx 7$  mm, 3 h pour un rayon de  $0,005977 \approx 6$ mm

(On trouve 5 h pour un rayon de 5 mm)

En retenant le fonctionnement de cette jarre, compte tenu de sa proximité d'avec *le disque de pierre* à usage astronomique, l'hypothèse d'une clepsydre à sable devient tout à fait vraisemblable.

### 2.2.3. Hypothèse de fonctionnement.

La clepsydre conserve le temps alors qu'un cadran donne le temps solaire. Il faut donc supposer une relation entre ces deux instruments de mesure. Si l'on se fie au fonctionnement des clepsydres babyloniennes, on peut voir que la correspondance entre l'eau ou le sable et le temps se faisait par le poids. Le liquide ou le sable écoulé étaient pesés et le temps correspondant à l'écoulement était proportionnel au poids de liquide ou de sable échappé de la clepsydre<sup>80</sup>.

C'est à ce niveau qu'on peut tenter un rapprochement entre *le disque de pierre* et la jarre à *conduit d'écoulement*. Dans le cas de la clepsydre

<sup>80</sup> Voir D. BROWN, J. FERMOR and C. WALKER, "The Water Clock", 132, *However, although Mul-Apin specifies weights when describing day and night lengths, the fact is that it gives the daily change in day length in terms of time units, which also means that the weight and time units were thought of as being in direct proportion. Cf. aussi : a mastaktum may have been understood as a wooden weighing device. Since it seems also to have measured time, this was perhaps done by weighing the fluid involved, hence the minas and shekels we see in Mul.Apin, EAE 14 and the like.*

(Jarre – R. de Vaux, avec  $r = 9$  mm) on peut établir la relation entre le temps et le poids du sable écoulé. En prenant dans le tableau 9, la colonne correspondant à 1 h d'écoulement, on a :

$$70,42 \text{ kg de sable} = 45 \text{ l} = 1 \text{ h}$$

$$\text{Soit } M \text{ [kg]} = 0,019561 \text{ [kg/s]} * \Delta t \text{ [s]}$$

Ainsi 1,17366 kg de sable correspondront (dans notre système d'unités) à un temps d'1 min.

Si l'on revient maintenant aux « rayures »<sup>81</sup> de la couronne C2 avec une division du temps en unité de 4min pour 1h, on obtiendrait le relevé suivant :

$M$ [kg]	$\Delta t$ [m]
4,70	4
9,40	8
14,1	12
18,8	16
23,51	20
28,2	24
32,9	28
37,6	32
42,3	36
47	40
51,7	44
56,4	48
61,1	52
70,42	59,9

Tableau 10 : Tableau donnant le poids de sable écoulé pour 4 min de temps.

Ainsi à 4,7 kg de sable correspondront 4 m de temps et 1 intervalle entre deux rayures sur la couronne C<sub>2</sub>. La mise à l'heure de la clepsydre est alors relativement facile par cette correspondance entre le temps, le poids et le débit constant des substances granulaires selon la loi de Beverloo.

<sup>81</sup> Cf. *supra*. Signes particuliers. Voir. *Astronomical Diaries and Related Texts from Babylonia*, Abraham SACHS and Hermann HUNGER (eds.), Wien, Austrian Academy of Sciences, cf. *Time measurement* : « Les intervalles de temps plus courts qu'un jour sont mesurés dans les agendas par l'unité UŠ, ce qui correspond à 4 de nos minutes ».

On relève que pour ces jarres-clepsydes, il faut considérer deux constantes propres à la jarre elle-même, son volume ( $V$ ) et le rayon de l'orifice d'écoulement ( $r$ ) et trois variables appartenant à la substance granulaire : le coefficient de compacité ( $C$ ), la masse volumique de la substance granulaire utilisée ( $\rho$ ) et le rayon d'un grain ( $r_m$ ).

Prenons pour la même jarre un autre sable avec ( $C = 0,6$   $\rho = 1480$ ,  $r_m = 1$  mm)

On obtient un débit de 0,0208 kg/s, une masse de 66,6 kg et un temps de vidange de 53,4 min, soit pour 20 min, 24,9 kg contre 23,51kg avec le sable du tableau 10. Les variations de masse sont faibles, mais la mise à l'heure de la clepsyde était facile et possible aisément en changeant la substance granulaire. La couronne  $C_2$  et les divisions en 4 min permettaient cette adaptation.

On peut examiner ce qu'il en est des deux autres clepsydes. A3 et A4.

Clepsyde A3.

Selon la même méthode, nous trouvons un volume de

$$V = 54,421 \text{ soit } \approx 54,5 \text{ l}$$

La loi de Beverloo permet de calculer le débit  $v_s(r)$  (en kg/s) de la clepsyde A3 grâce à la relation suivante :

$$v_s(r) = C\rho\sqrt{g(r - rm)^{5/2}}$$

$$\text{Soit } M \text{ [kg]} = 0,015721 \text{ [kg/s]} * \Delta t \text{ [s]}$$

Ainsi 0,94681 kg de sable correspondront (dans notre système d'unités) à un temps d'1 m.

Soit 3,8 kg pour 4min indiqué sur la couronne  $C_2$ .

On donnera simplement les résultats obtenus sur la clepsyde A4 présentant le même orifice que A3.

$$V = \int_{5,05}^{006} \pi f^2 x (dx)$$

$$V = \approx 41,7 \text{ l}$$

$$M \text{ [kg]} = 0,018127 \text{ [kg/s]} * \Delta t \text{ [s]}$$

La clepsyde A4 a un *conduit d'écoulement* semblable à A3. Son orifice de vidange est estimé à 0,0084 m (8,4 mm) de rayon (A4 appartient à la même période que A3 qui est différente des jarres A1 et A2 postérieures et présentant des *conduits d'écoulement* de formes différentes.)

Si l'on prend un sable caractérisé par  $C=0,6$ ,  $\rho = 1565$ , mais d'un grain plus fin  $r_m = 0,00016$  mm la clepsyde se videra en 1 h. Nous aurons une vidange de 4,35 kg de sable en 4 min.

Il faut rajouter qu'a été trouvé à côté de cette jarre un couvercle percé d'un trou. (Figure 5, A4)<sup>82</sup>. Ce dispositif confirme l'hypothèse de la clepsydre à sable<sup>83</sup>.

Comme on le voit, le fonctionnement de ces clepsydras à sable se révèle relativement simple. Les trois jarres sont bien de volumes différents (45 l, 54,5 l, 41,7 l), mais cela n'influe pas sur les mesures. Seul influe la qualité du sable (ou de la substance granulaire) avec ses trois coefficients ( $C$ ,  $\rho$ ,  $r_m$ ) et le rayon de l'orifice de la jarre ( $r$ ). C'est là qu'intervient l'harmonisation entre *le disque* et les clepsydras.

Indépendamment de la hauteur de sable, *le disque* donne un intervalle de temps solaire  $\Delta t$  de 4 m ou tout autre temps mesurable correspondant à une quantité de sable écoulé et pesé  $M$  [kg] pour ce temps  $\Delta t$ .  $M$  [kg] =  $v_s$  [kg/s] \*  $\Delta t$  [s].

La vitesse d'écoulement est une constante  $v_s$  [kg/s]. =  $\frac{M \text{ [kg]}}{\Delta t \text{ [s]}}$ .

### 3. LES MIŠMAROT<sup>84</sup>

La question qui se pose maintenant est assez classique dans la littérature de l'astronomie ancienne. Les auteurs des écrits astronomiques qumrâniens se sont-ils procurés à des observations authentiques ou bien ont-ils accompli un simple travail de copiste ou tout au plus de rédacteur à partir de sources documentaires ? On a de bons exemples de cette tournure d'esprit avec de grands noms comme Théon d'Alexandrie (335-405) reprenant de manière scolaire le travail de Ptolémée<sup>85</sup> avec plus tard celui de Stéphane

<sup>82</sup> Irina EISENSTADT, *Qumran Pottery*, Q-SJ10B, [187]. Et 5a planche 6 [227], [226] Jar knob.

<sup>83</sup> Voir site de physique expérimentale de l'Université Paris Diderot : *Sablier Intermittent*.  
<http://www.msc.univ-paris-diderot.fr/~phyexp/pmwiki.php/Main/HomePag>  
<http://www.msc.univ-paris-diderot.fr/~phyexp/pmwiki.php/Sablier/SablierInte>

Le sablier présente plusieurs régimes : Un régime continu : écoulement régulier du sable du compartiment supérieur au compartiment inférieur du sablier. Un régime de blocage : Absence de tout écoulement. Un régime intermittent : écoulement avec un flux régulier (couplage des deux régimes : stationnaire et bloqué).

Lors de l'écoulement de petits grains, l'écoulement peut brusquement s'arrêter. Étant donné que les grains sont petits, il existe donc moins d'espace entre chaque grain. Le sablier composé de petits grains est donc moins perméable à l'air. Lorsque se produit une dépression dans la chambre supérieure, une arche de sable stable empêche l'air de remonter vers la chambre supérieure. Ainsi la pression n'augmente pas donc l'écoulement est bloqué. Dans le cas des jarres, le couvercle A5, servait à bloquer l'écoulement en fermant le trou dont il était percé.

<sup>84</sup> Tous les calculs sont réalisés à partir des données du site de l'IMCCE, <http://www.imcce.fr> (Institut de Mécanique Céleste et Calcul des Ephémérides)

<sup>85</sup> Voir Anne THON, « Le calcul de l'éclipse de Soleil du 16 juin 364 p.C. et le Petit Commentaire de Théon », (Bulletin de l'Institut historique Belge de Rome), 46-47 (1976-1977) 40.

de Constantinople<sup>86</sup> et dans le monde arabe al-Fargāni faisant connaître et initiant aux méthodes de *l'Almageste* par son *Compendium*<sup>87</sup>. (*Kitāb fī Jawāmi' ʿIlm al-Nujūm* vers 833).

Dans le cas présent on part d'un fait très concret, rare dans l'histoire, on possède un ensemble d'instruments dont on décrit les possibilités et la finalité. Notre méthode d'approche consistera à voir en quoi ces instruments '(disque et jarres) s'accordent avec les textes astronomiques trouvés à Qumrân, mais aussi à d'autres possibilités non attestées par des écrits découverts à ce jour.

Comme cela est bien attesté par l'ensemble des chercheurs les travaux d'astronomie de Qumrân restent largement tributaires de l'astronomie babylonienne<sup>88</sup>.

### 3.1. Théories de la Lune : *Lunar six* et *Lunar three*

Mathieu Ossendrijver souligne que la réalisation la plus remarquable de l'astronomie mathématique babylonienne concerne sans doute le calcul du « Lunar Six », qui sont des intervalles de temps entre le lever ou le coucher de la Lune et celui du Soleil autour de Nouvelle Lune ou de la Pleine Lune<sup>89</sup>.

1.  $NA_1$  – Temps entre le coucher du Soleil et le coucher de la Lune le soir, première visibilité de la Lune, la conjonction.

2.  $SU$  – Temps entre le coucher de la Lune et le lever du Soleil, heure à laquelle la Lune se couche pour la dernière fois avant le lever du Soleil, juste avant la pleine Lune.

Anne TIHON (éd.), *Le Grand Commentaire de Théon d'Alexandrie aux Tables Faciles de Ptolémée*, Livre I, Cité du Vatican, 1985. Anne TIHON (éd.), *Le Grand Commentaire de Théon d'Alexandrie aux Tables Faciles de Ptolémée* Livre II, III, (Cité du Vatican, 1991). Barlaam de Séminara, *Traité sur les éclipses de Soleil de 1333 et 1337*. Histoire des textes, éditions critiques, traductions et commentaires par Joseph MOGENET et ANNE TIHON avec la collaboration de Daniel DONNET, ed. Peeters, 1977.

<sup>86</sup> Voir Jean LAMPIRE, « Un manuel d'astronomie attribué à Stéphanos (VII<sup>e</sup> s.). Un texte héritier de l'enseignement scientifique d'Alexandrie », *Forum Romanum Belgicum*, 2014, article 6.

<sup>87</sup> Cf. Régis MORELLON, « L'astronomie arabe orientale entre le VIII<sup>e</sup> et le XI<sup>e</sup> siècle », 39, dans *Histoire des Sciences arabes*, Tome I, Le Seuil, 1997.

<sup>88</sup> Cf. Jonathan BEN-DOV, *Head of All Years, Astronomy and Calendars at Qumran in their Ancient Context*, Series: Studies on the Texts of the Desert of Judah, Volume: 78, Brill, 2008.

<sup>89</sup> Mathieu OSSENDRIJVER, *Babylonian Mathematical Astronomy: Procedure Texts*, (Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2012), 113. Voir Oscar NEUGEBAUER, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, part One, 538. Oscar NEUGEBAUER, *Astronomical Cuneiform Text*, 3 vols, London, Lund Humphries, 1955, N<sup>o</sup> 201, 226.

3. NA<sub>30</sub> – Le temps entre le lever du Soleil et le coucher de la Lune, lorsque la Lune se couche pour la première fois après le lever du Soleil (juste après la pleine Lune).

4. ME – Temps du lever de la Lune au coucher du Soleil, lorsque la Lune se lève pour la dernière fois avant le coucher du Soleil (juste avant la pleine Lune).

5. GE<sub>6</sub> – Le temps entre le coucher du Soleil au lever de la Lune, lorsque la Lune se lève pour la première fois après le coucher du Soleil (juste après la pleine Lune).

6. KUR – La date et l’heure du lever de la Lune au lever du Soleil, lorsque la Lune est visible pour la dernière fois avant la conjonction

Ces intervalles révèlent à la fois une astronomie mathématique, mais aussi une astronomie d’observations, fondement de son aspect calculatoire, le tout se situant dans une finalité de prédiction des événements, technique que l’on nomme depuis Abraham J. Sachs<sup>90</sup> : « Goal-Year ».

Ainsi pour la Lune les textes babyloniens relevant de cette méthode utilisent une période de 18 ans. Les textes mentionnés comprennent les éclipses, mais aussi des *informations sur la durée séparant le coucher de la Lune du coucher du Soleil. Et ainsi de suite et divers moments importants du mois*<sup>91</sup>.

Abraham J. Sachs a nommé « Lunar Three »<sup>92</sup> un ensemble de texte reposant uniquement sur KUR, NA<sub>1</sub> et NA<sub>30</sub>. C’est précisément ce « Lunar-Three » qui structure les *mišmarot* comme le montre Jonathan Ben Dov. Après une étude minutieuse, il peut conclure que les phénomènes lunaires rapportés dans les *mišmarot* reflètent les techniques de l’astronomie babylonienne non mathématique à savoir de « Lunar Three », modifiées à Qumrân afin de correspondre au calendrier de 364 jours<sup>93</sup>. Les déductions reposent sur l’examen de 4Q320, 4Q321, et 4Q321. L’auteur donne une interprétation pertinente de *X* et de *dwq* dans les textes de Qumrân qui sont

<sup>90</sup> Abraham J. SACHS, “A Classification of Babylonian Astronomical Tablets of the Seleucid Period”, *Journal of Cuneiform Studies* 2, 1948, 271–90. Cf. aussi pour “Goal-Year”, J.M.K. GRAY, J. M. STEELE, “Studies on Babylonian goal-year astronomy I: a comparison between planetary data in Goal-Year Texts, Almanacs and Normal Star Almanacs”. *Archive for History of Exact Sciences* 62: 2008, 553–600. Dans la traduction française de James EVANS, *Histoire et pratique de l’astronomie ancienne*, Paris, Les Belles Lettres, 2016 : « Naissance de la prédiction : les textes babyloniens pour « année-objectif » (Goal-Year), 348.

<sup>91</sup> J. EVANS, *Histoire et pratique*, 353.

<sup>92</sup> A. J. SACHS, *Classification.*, §16.

<sup>93</sup> Voir J. BEN-DOV, *Dial*, 242.

liés au couple babylonien NA et KUR de « Lunar Three ». X (Qumran) = KUR (Babylone) = dernière visibilité matinale de la Lune à la fin de la lunaison. *dwq* (Qumrân) = NA (Babylone) = premier coucher de la Lune après le lever du Soleil, le lendemain de la pleine Lune<sup>94</sup>.

Il faut aussi noter une influence déterminante de l'astronomie babylonienne sur *l'Hénoch araméen*. Henryk Drawnel<sup>95</sup> établit une comparaison éclairante entre les tables publiées par F Al-Rawi et A. R. George<sup>96</sup> et le *livre araméen* en question<sup>97</sup>.

Ces mesures relatives au coucher et au lever de la Lune et du Soleil permettent un ensemble de connaissances et de calculs portant sur le mouvement de la Lune, ce qui conduisait à la fixation d'un calendrier et à une prévision des phénomènes astronomiques : pleine Lune, nouvelle Lune, éclipses.

Que l'on soit en « Lunar Six » ou en « Lunar Three », le système repose sur des mesures de positions de la Lune et du Soleil par rapport à l'horizon, technique, largement développée dans toutes ses implications par Oscar Neugebauer et Mathieu Ossendrijver. Comment ces mesures sont-elles possibles ? C'est là que la présence du disque et des clepsydes à sable permet de voir se dessiner une astronomie d'observation.

À cinq heures *le disque* n'était plus utilisable, l'ombre étant extérieure à sa surface. Toutes les mesures effectuées sur l'horizon au coucher du Soleil ne pourront l'être en aucune façon par un cadran et son ombre. La clepsyde (jarre à *conduit d'écoulement*) sera alors utilisée selon ce qui a été expliqué plus haut. À une quantité de sable correspondra un temps donné. C'était la seule manière de conserver le temps et d'effectuer des mesures sur les intervalles de temps Lune-Soleil. Mais il faut encore ajouter que *le disque* pouvait être utilisé pour donner les azimuts des levers et couchers de la Lune et du Soleil. (Azimuts des couchers et des levers, couronnes C<sub>4</sub> et C<sub>6</sub>).

<sup>94</sup> *Ibid.* 236. 4Q210, 4Q209.

<sup>95</sup> H. DRAWNEL, *op. cit.*, 302

<sup>96</sup> Farouk AL-RAWI and Andrew GEORGE, "En-uma Anu Enlil XIV and Other Early-Astronomical Tables,"

*Archiv für Orientforschung*, 38–39 (1991–92). Il s'agit de quatre tables lunaires: (A) durée de la visibilité de la Lune au cours du mois équinoxial, tradition du Nippour; (B) durée de la visibilité de la Lune dans le mois équinoxial, tradition de Babylone; (C) variation saisonnière de la longueur du jour et de la nuit; (D) variation mensuelle de la visibilité de la Lune à la nouvelle lune et de son invisibilité à la pleine lune.

<sup>97</sup> H. DRAWNEL, *op. cit.*, 303, 304, 306. Cf. appendix III, IV, 425-428.

### 3.2. Les vents et les portes du livre d'Hénoch.

*L'Hénoch astronomique araméen*<sup>98</sup> va ouvrir une autre possibilité du disque et des clepsydres. Il s'agit de la division de l'espace en « portes » et en « vents ». *La rose des vents* composée de douze vents répartis sur quatre directions cardinales divise le cercle de l'horizon (360°) en douze parties symétriques de 30° chacune<sup>99</sup>.

Mais comme le souligne Henryk Drawnel<sup>100</sup> à la suite de Paul V. Neugebauer et Ernst F. Weidner, cette division n'est pas d'ordre uniquement géographique, elle s'enracine dans une division du ciel héritée de Babylone<sup>101</sup>. Dans cette perspective nous comprenons mieux pourquoi les couronnes C<sub>4</sub> et C<sub>6</sub> sont graduées sur 360°, et non pas seulement entre les valeurs extrêmes des azimuts du Soleil pour la latitude de Qumrân. Dans cette optique *le disque* et ses graduations azimutales constituent un système de coordonnées de la voûte céleste. Cela nous conduit à rapprocher une autre conclusion de Paul V. Neugebauer et Ernst F. Weidner d'un aspect du disque de Qumrân. Nos auteurs ont également noté en effet que dans l'éclipse lunaire *omina*<sup>102</sup>, la surface de la Lune est divisée en quadrants correspondant aux quatre régions du ciel, comme cela se présente dans le Texte MUL.APIN<sup>103</sup>. Et comme le conclut Henryk Drawnel : *L'interprétation des directions cardinales et des vents latéraux par Neugebauer et Weidner semble trouver sa confirmation dans les observations astronomiques des éclipses lunaires, où les vents sont davantage subdivisés afin de décrire correctement le mouvement de l'ombre de l'éclipse à la surface de la Lune. La rose des vents selon le livre d'Hénoch imite cette subdivision des directions cardinales et la transpose dans la terminologie araméenne*

C'est alors que ces divisions en saillie des couronnes C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>5</sub>, qui permettent de convertir le temps vrai en temps moyen viennent renforcer l'hypothèse de l'observation d'éclipses à Qumrân. On peut le soutenir parce que cette forme de correction dans toute l'histoire de l'astronomie

<sup>98</sup> Henryk DRAWNEL, *The Aramaic Astronomical Book from Qumran*, Oxford University Press, 2011

<sup>99</sup> *Ibid.*, 320.

<sup>100</sup> *Ibid.*, Thus, calculating the position of the stars according to MUL.APIN II i 68- 71, one finds the following azimuth for the cardinal directions: north: 0°; east: 90°; south: 180°; west: 270°. 341.

<sup>101</sup> Voir. Paul V. NEUGEBAUER et Ernst F. WEIDNER, "Die Himmelsrichtungen bei den Babyloniern" *AfO* 7: 1932, 269-71.

<sup>102</sup> Richard A PARKER, *A Vienna demotic papyrus on eclipse- and lunar-omina*, Brown University Press, 1959.

<sup>103</sup> H. DRAWNEL, *Astronomical Book*, 342.

ancienne ne s'applique que dans le cas de calculs portant sur le mouvement de la Lune et encore plus spécialement sur les intervalles de temps séparant les éclipses.

Ptolémée précisant qu'il tient ses méthodes des anciens c'est-à-dire des Babyloniens affirme que les observations doivent se faire sur les éclipses de Lune du fait de l'absence de parallaxe : *En conséquence, pour chercher généralement quels sont les lieux vrais de la Lune, on dira qu'il ne faut pas se servir des autres observations des lieux qui s'y montrent à la vue des observateurs, mais seulement de celles des éclipses de Lune*<sup>104</sup>. La surface du disque avec ses divisions azimutales et avec sa possibilité de conversion d'un temps irrégulier en temps régulier (semblable à celui des clepsydres) permettait de déterminer le temps entre deux éclipses<sup>105</sup>. L'erreur sur la différence du temps vrai et du temps moyen peut atteindre 30 min si les mesures ont été effectuées en février et novembre, périodes où *E* atteint ses plus grandes valeurs positives en février et négatives en novembre.

Mais l'on doit encore noter que la notion de « vent » est aussi liée aux éclipses de Soleil et cette fois sur le plan météorologique, le vent et sa direction font partie des descriptions d'éclipses solaires. De même pour les comètes et les météores<sup>106</sup>.

### 3.3. Les portes

La question des « portes » dans l'astronomie du *Livre d'Hénoch* constitue un sujet difficile qui a suscité bon nombre d'interprétations. Notre propos ne consiste pas à en proposer une nouvelle, mais plutôt de voir comment le matériel astronomique découvert à Qumrân et qui a été décrit peut éclairer la problématique des « portes » et cela indépendamment des interprétations particulières.

Dès les travaux de Sylvain Grebaut, il est question du nombre de jours pendant lesquels la Lune se lève et se couche à travers l'une des six portes

<sup>104</sup> PTOLÉMÉE, *Syntaxe mathématique*, édition Halma, Livre IV, chap. 1.

<sup>105</sup> Comme nous l'avons signalé chez Ptolémée, Ptolémée, *Syntaxe mathématique*, édition Halma, 206. Il se trouve que sur la période que nous étudions un grand nombre d'éclipses de Lune totale furent visibles sur Qumrân. Soit 82 entre – 98 et 68. Voir NASA, Eclipse Web Site : <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/lunar.html>

<sup>106</sup> Voir. *Astronomical Diaries and Related Texts from Babylonia*, Abraham SACHS and Hermann HUNGER, c) Eclipses et 4) Meteor, Comets, etc.... *Keeping Watch in Babylon The Astronomical Diaries in Context Series: Culture and History of the Ancient Near East*, Volume: 100 Editors: Johannes HAUBOLD, John STEELE and Kathryn STEVENS. Voir. (Description d'une éclipse de Soleil, Février 133 BCE), 63.

à son lever et à travers l'une des six portes à son coucher. Grebaut rapportait ces portes à des coordonnées <sup>2</sup>écliptiques c'est-à-dire au Zodiaque. Otto Neugebauer quant à lui va rejeter toute interprétation zodiacale<sup>2</sup> des « <sup>2</sup>portes »<sup>107</sup>. Lorsque Milik publie les fragments araméens de l'AAB<sup>108</sup>, il paraît évident qu'ils contiennent le système des six portes entendu comme les lieux du lever et du coucher de la Lune similaire à ce qui a déjà été connu de *IHénoch* et du Livre de *la Révolution des Luminaires Célestes*. L'explication de Neugebauer sur les portes avait remplacé, semble-t-il, la précédente sur le zodiaque. Cependant plusieurs chercheurs ont récemment affirmé que les portes du *Livre d'Hénoch* pouvaient être considérées comme une projection des signes zodiacaux à l'horizon<sup>109</sup>. Pour Francis Schmidt les portes sont chacune divisées en 30 petites ouvertures pour le lever et le coucher du Soleil<sup>110</sup> quotidiens.

On peut alors poser la question de la relation du disque de pierre et de cette astronomie. Il apparaît clairement, comme le dit H. Drawnel que la finalité du système des portes consiste en la synchronisation du mouvement du Soleil et de la Lune<sup>111</sup>. Mais cette synchronisation n'était pas simple. H. Drawnel remarque que les références aux portes araméennes apparaissent de manière assez aléatoire et ne visent pas à communiquer le nombre de jours que la Lune passe dans une porte<sup>112</sup>.

Déterminer l'heure des levers et couchers de la Lune est une opération complexe du fait de la grande irrégularité du mouvement de la Lune. Et l'on comprend qu'une approche purement arithmétique par un travail de scribes devait fatalement se révéler assez éloignée de la réalité.

Si des écrits comme le *livre d'Hénoch* indiquaient une méthode de travail, il était certainement nécessaire de revenir à l'observation, c'est ce que *le disque* et les jarres peuvent laisser supposer. Dans le cas des « portes », il fallait déterminer les lieux des levers et couchers du Soleil et de la

<sup>107</sup> Otto NEUGEBAUER, « Notes on Ethiopic Astronomy<sup>2</sup> », *Orientalia*, NS 33: 49-71. Cf. H. DRAWNEL, *Astronomical Book.*, 293.

<sup>108</sup> Joseph MILIK, *The Books of Enoch: Aramaic Fragments of Qumran Cave 4*. Oxford: Clarendon, 275-278.

<sup>109</sup> BRACK-BERNSEN et HUNGER, « The Babylonian Zodiac: Speculations on its invention and significance », *Centaurus* 41, 280-292

<sup>110</sup> Ces petites ouvertures sont appelées חרתין dans le *livre astronomique araméen*, et simplement « portes » et simplement « portes » – « שערים » – dans le rouleau de calendrier hébreu, 4Q503, qui numérote les portes 1 à 30 selon le jour du mois.. Cf. Francis SCHMIDT, « Le calendrier liturgique des prières quotidiennes (4Q503). En annexe: l'apport du verso (4Q512) à l'édition de 4Q503, » dans *Le temps et les temps dans les littératures juives et chrétiennes au tournant de notre ère* (JSJSup 112; eds. C. GRAPPE and J.C. INGELAERE, Leiden: Brill, 2006), 55-83.

<sup>111</sup> H. DRAWNEL, *Astronomical Book*, 297.

<sup>112</sup> *Ibid.* 293

Lune à savoir leurs azimuts respectifs. L'azimut des couchers et levers est donné par la relation  $\text{Arc cos } \alpha = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi}$  (Avec  $\delta$  = déclinaison de l'astre et  $\varphi$  = latitude du lieu). Si la déclinaison du Soleil est relativement facile à trouver avec au moyen d'un cadran à ombre comme *le disque* et s'il est possible d'en suivre la progression sans recours à l'observation par une méthode calculatoire, ce n'est pas le cas de la Lune.

Cette dualité de l'observation et du calcul en ce qui concerne la Lune se laisse bien voir dans une tentative de synchronisation selon laquelle la Lune et le Soleil se lèveraient dans la même porte à savoir auraient même azimut<sup>113</sup>.

L'existence des deux couronnes du disque  $C_4$  et  $C_6$  permettait alors de comparer l'azimut du lever du Soleil par exemple en  $C_4$  à celui de la Lune en  $C_6$ . Les deux couronnes avec un décalage de  $2,5^\circ$  pouvaient trouver là une application expérimentale des méthodes calculatoires exposées dans *Les mišmarot* et le *livre d'Hénoch*.

#### CONCLUSION

Les trois entités analysées, le « disque de pierre », les jarres à *conduit d'écoulement* et les *mišmarot* et l'*Hénoch araméen* prennent cohérence et sens dans la mise en évidence de leurs interrelations.

Mais prises individuellement des questions difficiles se posent.

Ainsi, la finalité astronomique du *disque de pierre* a été contestée<sup>114</sup>. La principale lacune des publications qui y furent consacrées consiste dans l'absence totale d'une analyse mathématique fine reposant sur une méthodologie de statistique adaptée à cet objet archéologique endommagé.

De même, les *jarres à conduit d'écoulement*, considérées en elles-mêmes ne permettaient pas d'y voir quelques objets à finalité scientifique. Irina Eisenstadt parle d'un *d'une utilisation qui n'est pas claire* et émet sans conviction l'hypothèse *d'une fonction de filtre pour la purification de*

<sup>113</sup> H. DRAWNEL, *Astronomical Book*, 270. *However, the Aramaic scribe bases his notes on the rising of the moon on the arithmetical calculation that he follows, not on actual observation. This interpretation of verse 4b is confirmed by the rest of the arithmetical calculation in 4Q208 and 4Q209, and by verse 4c, which states that the moon is visible during the day ('on that day'). Also, verse 4d suggests the same interpretive approach, because it synchronizes moonrise with sunrise on the same day and in the same gate.* Texte : Ethiopie text and English translation of 1 Enoch 7 3 :4-, (a) And it rises in this way: (b) Its head which is in the east emerges on the thirtieth day, (c) and on that day it is seen, (d) and becomes for you the beginning of the month on the thirtieth day with the sun, in the gate where the sun emerges, *ibid.*

<sup>114</sup> J. BEN-DOV, "The Qumran Dial", 235.

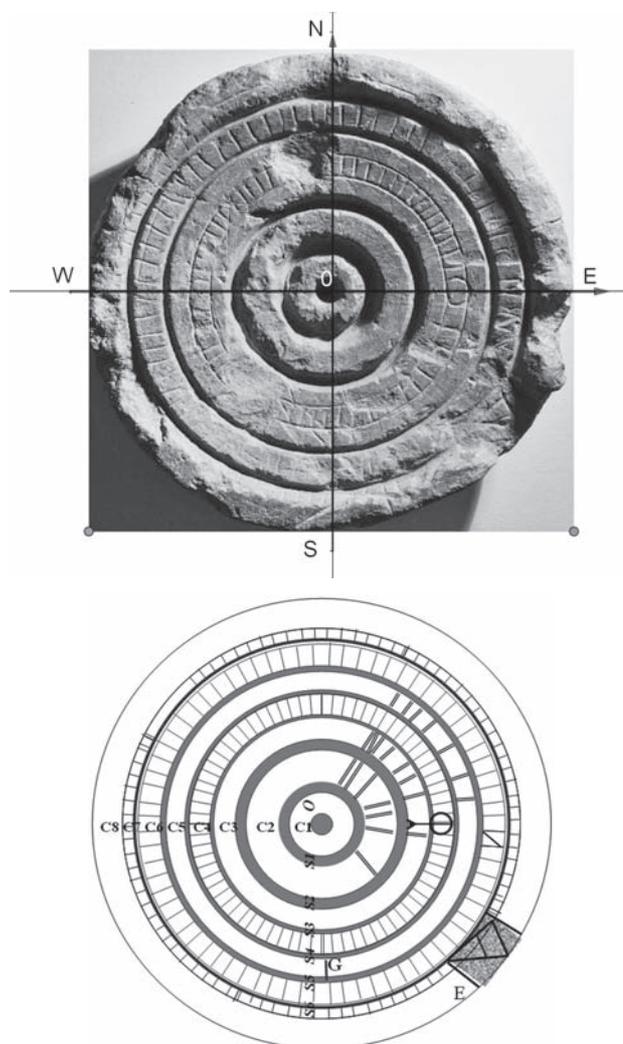
*l'argile servant à la fabrication des poteries du site*<sup>115</sup>. La question est renouvelée du fait de la proximité du lieu de leur découverte. *Le disque* et ces jarres très particulières se trouvent au même endroit. De plus et surtout, le disque destiné à fonctionner le jour ouvre la possibilité et même la nécessité de *conserver* le temps : c'est la fonction des clepsydres. Or il se trouvait que si on possède de belles descriptions des « water-clock » babyloniennes, il ne semble pas que l'on ait pu en mettre à jour quelque exemplaire. Cela est dû à une fixation sur la seule possibilité d'un fonctionnement à l'eau. Or, les descriptions babyloniennes ouvrent la possibilité de l'utilisation du sable. Et l'on a pu voir qu'il s'agissait là de deux principes physiques différents (loi de Torricelli, loi de Beverloo). Le sablier se présente comme un instrument de mesure plus fiable et facilement utilisable.

Enfin les textes astronomiques trouvés à Qumrân pouvaient-ils avec certitude être rattachés à une activité scientifique locale ? Pouvaient-ils parler, d'observations ? Ce qui impliquait, disons-le, une compréhension préalable des textes, une formation en un mot une école. La présence du « disque » à finalité astronomique, son origine locale, son utilisation sur plusieurs générations qui couvrent la Période II de R. de Vaux (en accord avec la datation du  $\nu$ )<sup>116</sup> donne une épaisseur historique à une science essénienne. Enfin la proximité des jarres à *conduit d'écoulement*, instrument complémentaire du disque permettent une réponse positive.

Ces textes se sont concrétisés dans un matériel qui en certifie et la compréhension et certainement une finalité de vérification en vue d'une adaptation locale. C'est d'ailleurs là un processus classique de l'histoire de l'astronomie, tant à Alexandrie qu'à Constantinople et plus tard à Bagdad, à Tabriz et Samarkand : tradition, observation, adaptation.

<sup>115</sup> I. EISENSTADT, *Qumran Pottery*, Q-SJ10B, [187]. Hypothèse suivie par J.-B. Humbert qui parle de jarre-filtre. Voir, Khirbet Qumrân et Aïn Feshkha : fouilles du P. Roland de Vaux. III A, L'archéologie de Qumrân : reconsidération de l'interprétation : les installations périphériques de Khirbet Qumrân, Jean-Baptiste HUMBERT o.p. et Alain CHAMBON ; notice de Hervé MONCHOT : Qumran terracotta oil lamps / Jolanta MLYNARCZYK. – Göttingen ; Bristol (Conn.) : Vandenhoeck & Ruprecht, cop. 2016. jarre 800, locus 45a, planche 16 (4 photos),

<sup>116</sup> Cf. *supra*.1.4.3



- O : Cavité centrale  
 C1 à C8 : Couronnes concentriques  
 S1 à S6 : Sillons concentriques  
 — : Traits entaillés dans les couronnes, C4, C6 et C7  
 = : Traits en saillie sur les couronnes, C2, C3, C5  
 Φ : Renversé au niveau de la couronne C4  
 Z : Traits reliés sur la couronne C6  
 E : Entaille au niveau des couronnes C7 et C8  
 G : Trait entaillé à  $-90^\circ$  ( $270^\circ$ ) du Φ renversé

Figures 1 : le disque de pierre



Figure 2 : le disque de pierre, détail des couronnes

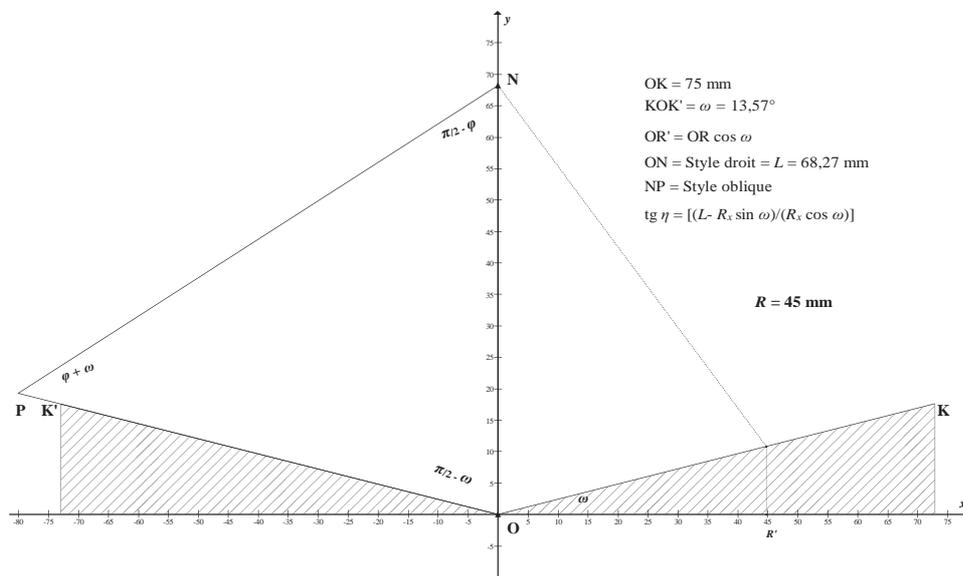
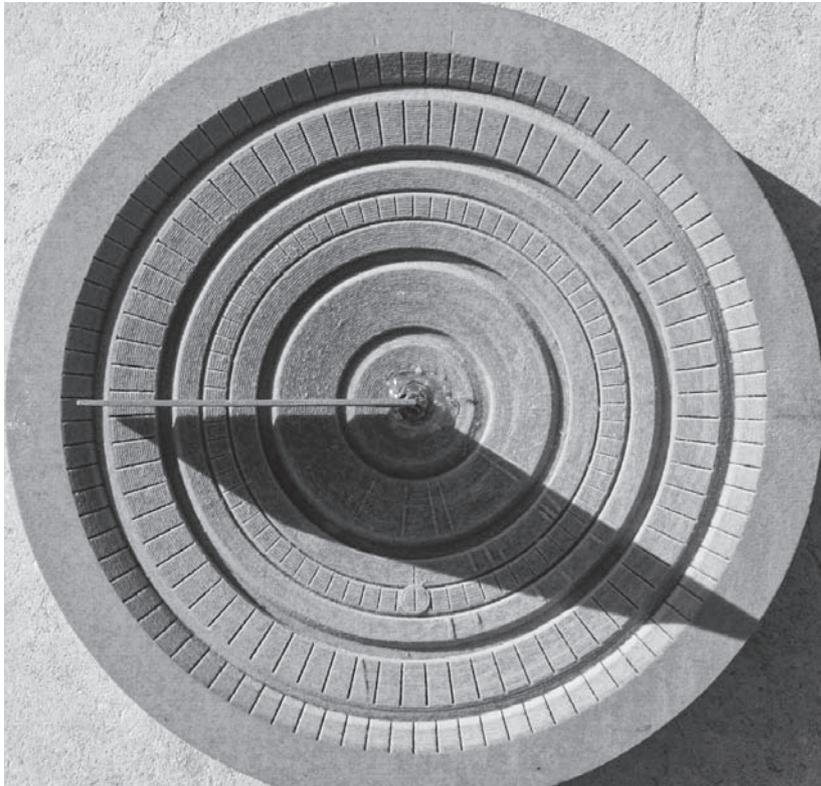
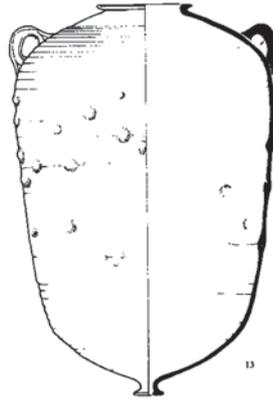


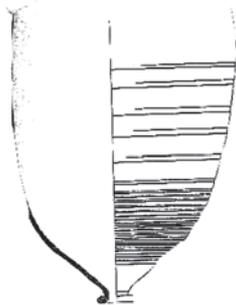
Figure 3 : Le style triangulaire du disque



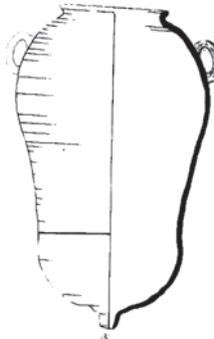
**Figure 4: Reconstitution 3D du disque**  
Ombre du style à 2h vraies



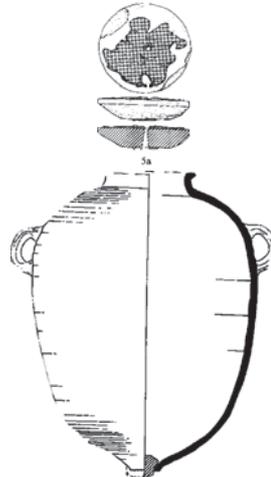
A1 : Echelle 1/4  
De Vaux 1953



A2 : Echelle 1/4  
Joseph Patrich



A3 Echelle 1/5



A4 : Echelle 1/5

Yitzhak Magen et Yuval Peleg (1993 -2004)  
+ couvercle trouvé avec A4

Figure 5 : Les jarres à conduit d'écoulement

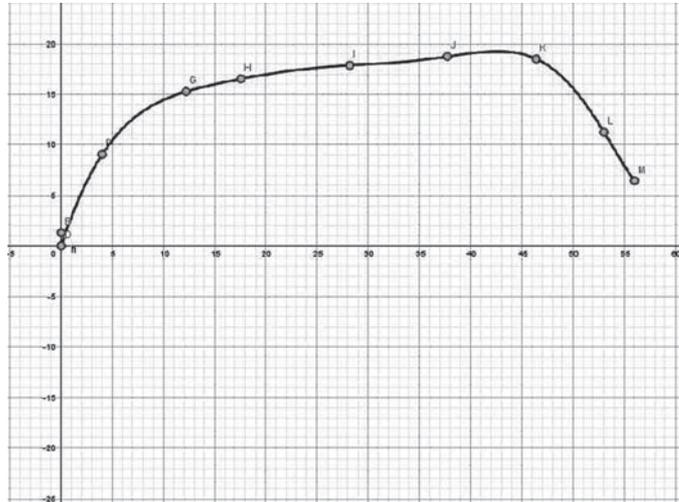


Figure 6 : Courbe du profil de la jarre A1 (GeoGebra)

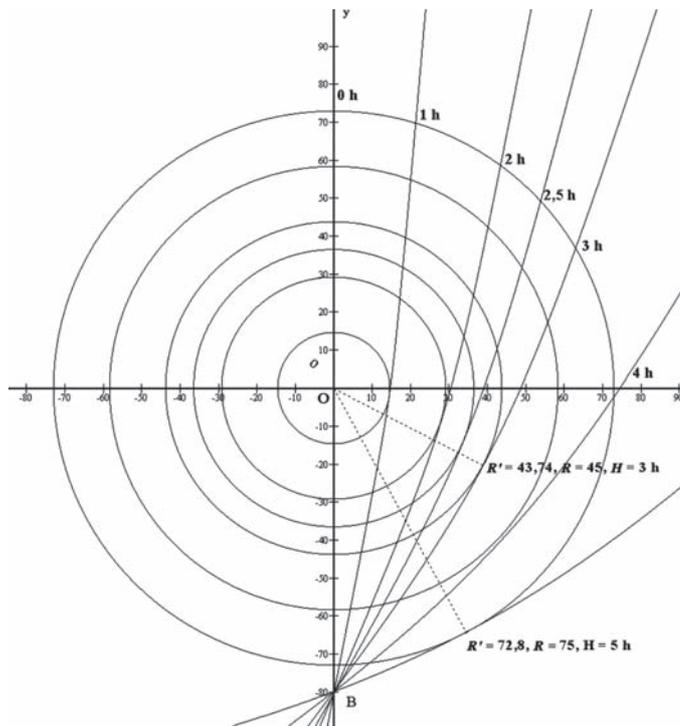


Figure 7 : Projections virtuelles des ombres du style oblique

