

LES VERRES AU NATRON ET LES VERRES AUX CENDRES DU *WADI NATRUN* (EGYPTE)

Maurice PICON, Valérie THIRION-MERLE, Michèle VICHY

1. Les différentes catégories de verre produites au *Wadi Natrun*

Les ateliers de verriers du *Wadi Natrun* ont déjà fait l'objet d'une note dans le bulletin de l'AFAV (Thirion-Merle *et al.* 2002-2003). Elle ne concernait que les verres au natron, alors qu'il sera surtout question ici des verres aux cendres. Toutefois, on rappellera et précisera d'abord quelques données techniques qui intéressent semble-t-il toutes les catégories de verre du *Wadi Natrun*, avant d'évoquer les compositions de ces verres, et particulièrement celles des verres aux cendres.

1.1 L'état des connaissances sur les ateliers du *Wadi Natrun*

Trois sites de production y sont connus : Beni Salama, Bir Hooker et Zakik (fig.1). Il s'agit uniquement d'ateliers primaires, c'est-à-dire d'ateliers qui élaborent le matériau verre, lequel est commercialisé à l'état de blocs de verre brut, et livré aux *ateliers secondaires* qui le transforment en vaisselles et autres objets manufacturés. Mais jusqu'à présent aucun indice d'atelier secondaire n'a été découvert au *Wadi Natrun*. Ce qui implique que le verre brut produit localement a été commercialisé, en totalité, à l'extérieur.

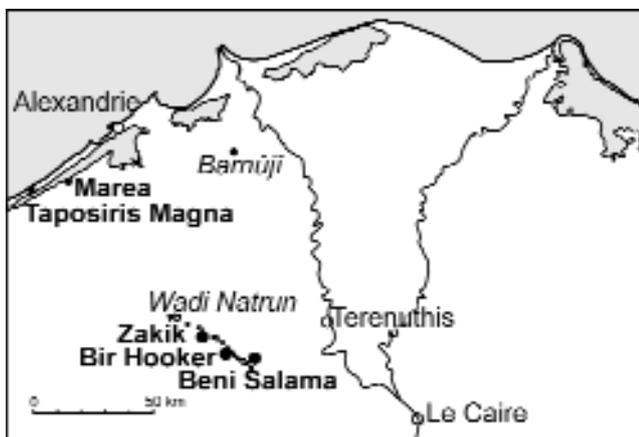


Fig. 1.- Carte des sites mentionnés dans le texte.

Deux types de fours pour la fabrication du matériau verre ont été rencontrés au *Wadi Natrun*. Il s'agit, dans les deux cas, de fours à réverbère, si l'on désigne sous ce terme des fours où la fusion du mélange de sable et d'alcalin (natron ou cendres) résulte de l'action des flammes passant au dessus, mais le plus près possible du bassin qui contient le mélange à fondre. Il n'y a donc aucun chauffage par dessous.

Le type le plus ancien, et apparemment le plus répandu au *Wadi Natrun*, est un *four à bassin muni d'un trou*

de coulée permettant d'extraire le verre à l'état liquide. Celui-ci forme alors en s'écoulant et en se refroidissant à l'extérieur du bassin des empilements de plis caractéristiques, faciles à débiter afin d'être convoyés vers les ateliers secondaires (1). Le bassin une fois vidé présente un fond à surface lisse, également très caractéristique.

Un autre type est un *four à bassin, sans trou de coulée*, permettant d'élaborer une dalle de verre non coulée, qu'on laisse refroidir *in situ*, à l'intérieur même du bassin, et qu'on débite à la masse, en blocs destinés aux ateliers secondaires (ce qui implique la destruction, au moins partielle, du four) (2).

Ce deuxième type de four autorise la fabrication d'une dalle de verre d'une quarantaine de centimètres d'épaisseur, au plus, pesant de 8 à 10 tonnes. En revanche la capacité des fours à bassin, pourvus d'un trou de coulée, pourrait avoir été bien moindre, peut-être quelques centaines de kilogrammes comme aux Sanguinaires.

Sans doute faut-il voir dans l'apparition des *fours à bassin sans trou de coulée* (qu'on pourrait appeler aussi *fours à bassin et dalle de verre*) une réponse technique aux besoins croissants en verre brut des ateliers secondaires.

La datation de ces deux types de fours en Égypte et hors d'Égypte est encore incertaine. L'épave *Sanguinaires A* ferait remonter les fours à bassin munis d'un trou de coulée à la seconde moitié du III^e siècle avant notre ère. Leur présence au *Wadi Natrun* pourrait indiquer qu'ils étaient encore utilisés durant le Haut-Empire. Toutefois, en l'absence de donnée ou d'argumentation chrono-stratigraphique, il ne peut s'agir que d'une hypothèse. Pour les mêmes raisons, on ne saurait attribuer actuellement de datation aux fours à bassin d'Égypte, sans trou de coulée, à ceux du *Wadi Natrun* comme à ceux de Maréotide (Nenna *et al.* 2000). Tout au plus peut-on estimer qu'à Beni Salama les fours à bassin de ce type paraissent marquer, par leur position au sommet des *kôms*, la fin des activités verrières sur le site ; mais on ne sait pas encore la situer dans le temps (3). Certes ces fours sont

1.- De tels plis s'observent par exemple sur le verre brut de l'épave *Sanguinaires A* qui serait de la seconde moitié du III^e siècle avant notre ère, mais n'est pas égyptien (H. Alfonsi ; Foy et Nenna 2001, p.100-102).

2.- Reconstitution hasardeuse (compte tenu de la hauteur et de la forme données à la voûte) d'un four de ce type en Israël, qui pourrait être du VIII^e siècle de notre ère (Gorin-Rosen 2000, p.52-54).

3.- Il serait intéressant, et même indispensable de connaître la composition du verre qui aurait été fabriqué dans les grandes structures, en cours de fouilles, de Beni Salama. Elles évoquent des fours à bassin, sans trou de coulée, et couronnent les *kôms* du site de production. On saurait alors si la rupture technique que l'on observe en passant des fours à bassin avec trou de coulée, aux fours à bassin sans trou de coulée (ou à dalle de verre) se retrouve dans leurs productions respectives. Dans l'affirmative, l'existence d'un hiatus chronologique entre ces deux phases d'activité des ateliers de Beni Salama ne serait pas à exclure.

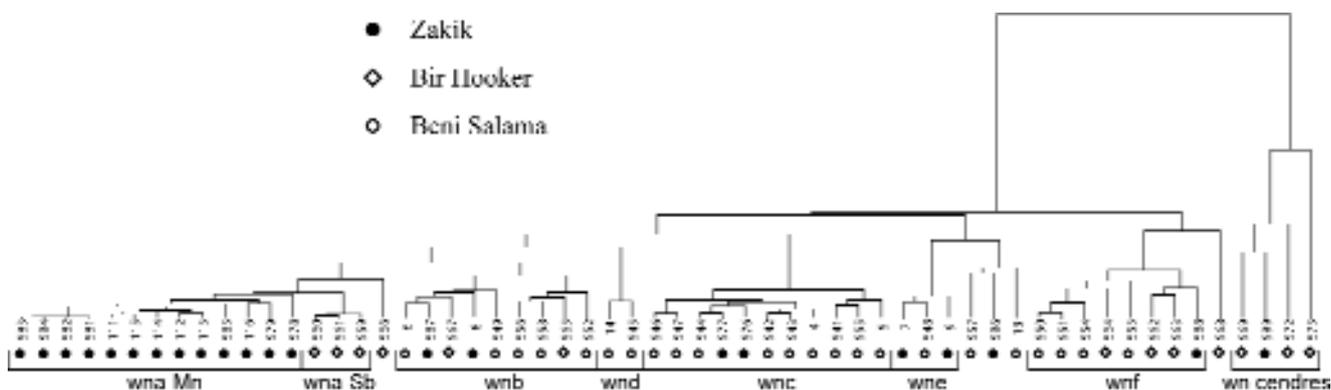


Fig. 2.- Classification des verres produits dans le Wadi Natrun, avec indication des sites de production et des groupes de composition.

encore attestés en Palestine, aux périodes byzantine et islamique (Gorin-Rosen 2000, p.52-56). Ce qui n'implique pas que ce soit aussi le cas au *Wadi Natrun*. Quant aux débuts de cette pratique, on peut les faire remonter pour le moment à la fin du II^e siècle de notre ère, ou au III^e, comme le montre la cargaison de verre brut de l'épave des *Embiez-ouest* (dont l'origine n'est encore pas élucidée) (Foy et Nenna 2001, p.110).

1.2 Les compositions des verres du Wadi Natrun

Aux 54 exemplaires de verre au natron du *Wadi Natrun* qui avaient fait l'objet d'une première classification (Thirion-Merle *et al.* 2002-2003), ont été joints 4 exemplaires de verre aux cendres de même origine, qui en avaient été écartés précédemment : 3 proviennent de Bir Hooker (VRR569, 572 et 575) et 1 autre de Zakik (VRR589) (4). La classification présentée ici porte, comme précédemment, sur les 8 constituants principaux suivants : Na, K, Mg, Ca, Al, Fe, Si, Ti (fig.2). On retrouve, sur le dendrogramme correspondant, les 6 mêmes groupes de verre au natron, de wna à wnf, et à l'extrémité droite un dernier groupe qui réunit tous les verres aux cendres. Mais on a subdivisé le groupe wna en deux : wna-Mn provenant de Zakik, décoloré au manganèse, et wna-Sb provenant de Bir Hooker, décoloré à l'antimoine. Demeurent comme précédemment quelques exemplaires isolés.

Les compositions moyennes et les écart-types de ces groupes et sous-groupes de verre au natron sont rassemblés sur le tableau 1, où figurent, à la partie inférieure, les compositions individuelles des 4 verres aux cendres.

Pour les verres au natron, les 9 premiers constituants en partant de la gauche caractérisent assez bien le sable utilisé pour leur fabrication. Ce qui n'est pas le cas pour les verres aux cendres dont les pourcentages de nombreux constituants, notamment ceux de la chaux (CaO), de la magnésie (MgO),

4.- En réalité on disposait de 7 analyses de verres aux cendres pour Bir Hooker, les prélèvements ayant été multipliés dans deux des bassins, afin d'y déceler d'éventuelles pollutions par les parois, pollutions qui se sont révélées négligeables. Mais ce qu'il importe de souligner ici, c'est que les verres aux cendres étudiés sont indubitablement de **fabrication locale**, ayant été prélevés sur des fonds de bassin (avec trou de coulée), et dans une région, le *Wadi Natrun*, dépourvu d'ateliers secondaires, donc d'importations de verre. Il n'y a malheureusement pas d'exemple en Egypte où l'on puisse être aussi affirmatif sur l'origine de verres aux cendres.

de la potasse (K₂O), de l'anhydride phosphorique (P₂O₅), mais aussi de l'oxyde de fer (Fe₂O₃) et de l'alumine (Al₂O₃), sont dus pour une large part aux cendres. C'est ce que montre bien le tableau 1 où les verres aux cendres (VRR569, 589, 572 et 575) se distinguent des 6 groupes de verre au natron du *Wadi Natrun* par les pourcentages nettement plus élevés de ces constituants (5).

2. Les compositions des verres aux cendres antiques, médiévaux et modernes

L'étude des verres aux cendres soulève certains problèmes spécifiques qui demandent que soient rappelées leurs principales caractéristiques de composition, ainsi que celles des sables et des cendres employés pour leur fabrication. On les évoquera brièvement, dans un cadre historique et géologique étendu, ne se limitant ni à l'Egypte ni à l'Antiquité.

2.1 Les sables et les cendres des verres aux cendres

Les cendres de même que le natron, se combinent avec le sable à température élevée pour donner un verre. Mais alors que la fabrication des verres au natron exige que les sables utilisés contiennent diverses impuretés (Ca, Mg, Al, Fe, etc) qui stabilisent le verre, le rendant notamment inattaquable à l'eau, ce n'est pas nécessaire pour les verres aux cendres. Car les cendres contiennent toujours de nombreuses impuretés susceptibles de jouer le rôle de stabilisant. On peut donc

5.- Aucun des groupes de verre du *Wadi Natrun* n'appartient à l'un des grands groupes de verre brut exportés en Occident, à l'exception du groupe wnc (ou groupe 11, Picon et Vichy 2003) qui est très proche du groupe 4, les deux groupes de verre ne se séparant d'ailleurs que par leurs pourcentages de sodium (Na), plus élevés au *Wadi Natrun*, ce qui ne saurait surprendre dans un site voué à l'extraction du natron. Il est probable que le sable utilisé pour le groupe wnc du *Wadi Natrun* a été amené, en quantité limitée, d'un site de production bien plus important. Ce site étant sans doute l'atelier primaire d'où serait parti en abondance vers l'Occident le verre brut du groupe 4. On a quelques raisons permettant de supposer qu'il pourrait s'agir d'un très grand atelier primaire égyptien. En tout cas le caractère à part des verres du groupe wnc apparaît bien sur le tableau 1 où l'on observe que ces verres se distinguent de tous les autres par leurs faibles taux de zirconium (Zr), d'oxyde de fer (Fe₂O₃), d'alumine (Al₂O₃) et d'oxyde de titane (TiO₂). Mais ce sont des questions qui devront encore faire l'objet de recherches, avant d'en proposer une interprétation, en termes de localisation, suffisamment argumentée.

		CaO %	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	K ₂ O %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	P ₂ O ₅ %	Zr ppm	Na ₂ O %	MnO %	Pb %	Sb ppm
wna-Mn n = 13	m	1,62	0,87	0,755	0,49	64,88	2,29	0,65	0,06	142	24,37	1,059	34	18
	σ	0,11	0,03	0,009	0,09	2,38	0,09	0,06	0,04	6	0,89	0,317	85	11
wna-Sb n = 3	m	2,76	0,85	0,750	0,37	66,04	2,31	0,88	0,02	176	23,78	0,000	28	6518
	σ	0,04	0,02	0,010	0,01	0,48	0,03	0,01	0,03	7	0,23	0,000	2	306
wnb n = 9	m	3,86	1,09	0,284	0,30	65,86	2,57	1,27	0,02	196	22,07	0,007	4	2
	σ	0,53	0,08	0,023	0,12	2,12	0,08	0,09	0,03	32	1,11	0,014	1	4
wic n = 11	m	5,41	0,57	0,080	0,35	66,11	1,72	0,44	0,00	56	22,77	0,000	20	7660
	σ	0,67	0,06	0,020	0,06	0,21	0,11	0,07	0,01	12	0,91	0,000	15	4026
wid n = 2	m	1,61	0,67	0,225	0,91	68,36	2,24	0,63	0,06	123	21,33	0,000	4727	14095
	σ													
wne n = 3	m	1,93	1,74	0,573	0,37	68,02	3,53	0,87	0,04	184	20,83	0,007	3	0
	σ	0,26	0,12	0,021	0,05	0,67	0,16	0,07	0,02	5	0,17	0,012	1	0
wnf n = 8	m	4,60	1,50	0,333	0,27	62,65	3,12	1,69	0,03	236	23,36	0,031	4	1
	σ	0,61	0,13	0,023	0,07	1,85	0,18	0,31	0,04	43	1,07	0,022	2	2
		CaO %	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	K ₂ O %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	P ₂ O ₅ %	Zr ppm	Na ₂ O %	MnO %	Pb %	Sb ppm
VHR509		13,00	2,73	0,55	2,24	62,08	5,51	3,14	0,37	363	11,51	0,120	2	< L.D.
VHR589		10,01	2,34	0,58	2,64	61,97	4,84	2,82	0,46	469	9,75	0,154	1	< L.D.
VHR572		9,58	3,34	0,70	2,08	64,63	6,73	2,80	0,41	476	9,53	0,080	3	< L.D.
VHR575		16,26	2,07	0,43	1,40	57,64	4,17	4,13	0,76	317	12,59	0,260	1	< L.D.

Tableau 1.- Compositions moyennes et écart-types des 6 groupes de verres du Wadi Natrun et données individuelles de 4 verres aux cendres.

utiliser pour les verres aux cendres des sables très purs, ne contenant pratiquement que de la silice (SiO₂), ce qu'il n'est pas possible de faire pour des verres au natron qui finiraient par se dissoudre dans l'eau. Mais pour les verres aux cendres, on a avantage, au contraire, à préférer des sables très purs, à cause des fluctuations importantes de la composition des cendres qui seraient difficiles à contrôler s'il s'y ajoutait les fluctuations de composition de sables ayant beaucoup d'impuretés (6).

Dans les verres aux cendres ce sont évidemment les cendres qui se substituent au natron pour apporter le fondant nécessaire à l'élaboration du verre. Mais ce fondant, au lieu d'être uniquement sodique comme dans le cas du natron, est de nature complexe : sodique (Na₂O), potassique (K₂O), magnésien (MgO), calcique (CaO), etc. Avec des différences importantes selon les lieux : fondant majoritairement sodique s'il s'agit de cendres de plantes poussant au bord de la mer ou en milieu salin, fondant majoritairement potassique, calcique et magnésien en milieu continental (Turner 1956, p.285T-292T).

6.- Ce qui explique le regroupement de beaucoup de verreries médiévales et modernes dans des zones où affleurent les terrains du sidérolithique qui se caractérisent par la présence de sables très purs, d'argiles blanches réfractaires et de minerais de fer. Ce sont en outre des terrains pauvres, abandonnés à la forêt, où se développera, en Europe occidentale principalement mais pas uniquement, toute une écologie artisanale du feu réunissant les verriers, les sidérurgistes et les potiers de terre réfractaire (puis de grès, dans le Nord) sans compter les charbonniers, les forgerons, etc...

2.2 Les compositions des verres aux cendres

Les cendres végétales offrent une très grande diversité de compositions qui n'a pas permis d'effectuer d'inventaire assuré des principaux groupes de verres aux cendres de l'Antiquité, alors que l'opération a été menée à bien pour la majorité des verres au natron (Foy *et al.* 2000a et b, Picon et Vichy 2003). Les difficultés dues à la diversité de composition des verres aux cendres sont encore aggravées par le petit nombre d'analyses de ces verres dont on dispose pour l'Antiquité.

On sera donc obligé, dans un premier temps, d'examiner les grands groupes de verres aux cendres, principalement occidentaux, de la fin du Moyen Âge et de l'Époque moderne, que l'on comparera au groupe de verres au natron le plus représentatif de l'Antiquité, le groupe 3, d'origine syro-palestinienne. La comparaison s'est présentée d'elle-même en classifiant un millier de compositions, relevées dans la littérature archéologique, ce qui a permis d'extraire – à côté d'un groupe de verres au natron, R, proche du groupe 3 – quatre groupes majeurs de verres aux cendres : A, B, C et D (tableau 2). Mais la classification a laissé de côté plus du quart des analyses (7).

7.- Il est évident que cette classification n'est qu'une ébauche d'où sont absents de nombreux groupes qui ne figurent pas dans l'échantillonnage, ou qui sont insuffisamment représentés pour y apparaître de manière lisible. Mais les groupes sont aussi fort hétérogènes et devraient être subdivisés. La plupart des analyses sont issues de publications remontant à quelques décennies (1 à 3 pour la plupart d'entre elles).

		CaO %	Fe₂O₃ %	TiO₂ %	K₂O %	SiO₂ %	Al₂O₃ %	MgO %	P₂O₅ %	Na₂O %	MnO %
R n = 227	m	7,61	0,63	(n=171) 0,13	0,76	70,83	2,61	0,60	(n = 110) 0,12	16,93	(n = 236) 0,726
	σ	1,19	0,50	0,14	0,24	1,87	0,38	0,30	0,05	1,60	0,736
	σ%	16	79	108	32	3	14	50	40	9	101
A n = 136	m	9,16	0,50	*	4,41	67,60	1,68	2,55	(n = 93) 0,61	14,09	(n = 126) 0,920
	σ	2,40	0,35		1,74	2,85	1,10	0,87	0,43	2,36	0,490
	σ%	26	69		39	4	65	34	67	17	53
B n = 150	m	14,56	0,58	*	14,47	60,01	1,29	6,97	(n = 77) 3,11	2,11	0,974
	σ	1,89	0,25		2,52	2,21	0,44	1,01	0,92	0,85	0,316
	σ%	13	41		17	4	34	15	30	40	32
C n = 158	m	21,70	0,19	*	6,19	63,21	2,05	2,80	(n = 129) 2,36	0,56	(n = 156) 1,118
	σ	2,63	0,52		1,49	2,13	0,71	0,72	0,73	0,76	0,670
	σ%	11	65		24	3	35	26	31	136	60
D n = 80	m	19,78	0,87	*	12,73	60,39	1,87	3,67	(n = 70) 3,33	0,70	1,113
	σ	2,29	0,28		2,28	2,33	0,54	0,44	0,78	0,36	0,802
	σ%	12	33		18	4	29	12	24	52	72

Tableau 2.- Compositions moyennes de verres romains (groupe R) et de verres aux cendres médiévaux et post-médiévaux (groupes A, B, C et D).

Le tableau 2 montre que les verres aux cendres, A, B, C et D, se distinguent des verres au natron du groupe R par des pourcentages nettement plus élevés de potasse (K₂O), de magnésie (MgO), de chaux (CaO) et d'anhydride phosphorique (P₂O₅). C'est d'ailleurs ce qu'on avait déjà constaté au *Wadi Natrun*, entre les verres aux cendres et chacun des groupes locaux de verres au natron (cf. 1.2 et tableau 1). Mais cela suffit-il à faire de ces quatre constituants des critères d'identification pour les verres aux cendres ?

En réalité il n'existe pas de réponse à cette question d'identification du type de verre, autre qu'en termes de probabilités. Prenons par exemple le calcium. On constaterait, en comparant les compositions dont on dispose sur les verres au natron et sur les verres aux cendres, que ces derniers ont souvent des pourcentages de calcium plus élevés que les premiers, mais que, plus souvent encore ces pourcentages sont voisins. C'est dire que le calcium n'est pas à lui seul un bon critère d'identification du type de verre. Toutefois on rencontre fréquemment de très bas pourcentages de calcium dans les verres au natron, et de très hauts pourcentages dans les verres aux cendres. Pour le magnésium la situation est assez semblable, les très bas pourcentages étant assez rares parmi les verres aux cendres, et les très hauts pourcentages parmi les verres au natron. La situation est plus tranchée pour le potassium dont les très bas pourcentages sont vraiment rares parmi les verres aux cendres, mais fréquents parmi les verres au natron, alors que les pourcentages élevés sont très rares dans les verres au natron, mais fréquents dans les verres aux cendres. Enfin le phosphore est sans doute le meilleur critère d'identification du type de verre, ses pourcentages élevés

ne se rencontrant pratiquement que dans les verres aux cendres, et ses pourcentages les plus faibles que dans les verres au natron (8).

Cette conception probabiliste, qui n'a rien d'artificiel, impose certes d'avoir quelque idée sur les gammes de concentration de ces différents constituants. L'identification du type de verre est alors rarement insurmontable, surtout quand il ne s'agit pas d'un exemplaire isolé mais d'une série, fut-elle très limitée (ce qui permettrait aussi de se prémunir contre l'absence de signification de bien des données). En tout cas ce sont ces mêmes critères qui ont été utilisés plus ou moins consciemment pour l'étude technique des productions égyptiennes de l'Antiquité.

3. Les verres au natron et les verres aux cendres d'Égypte

On ne remontera pas au III^{ème} millénaire dont les produits « vitreux » et le vocabulaire servant à les désigner dans les publications témoignent apparemment d'une grande confusion. Que qualifie-t-on de verre, de pâte de verre, de fritte, de faïence ou de glaçure ? On ne saurait le dire en l'absence de définition rigoureuse et d'examen qui en confirmerait l'adéquation.

En Égypte, les verres du Nouvel Empire sont les plus anciens à avoir fait l'objet d'études en laboratoire un peu approfondies.

8.- À cela près que les verres du groupe A (tableau 2) dont les cendres sont celles de plantes de bord de mer et autres milieux salins, ont parfois de faibles pourcentages de phosphore. Mais les autres constituants, le magnésium et surtout le potassium, sont alors suffisamment explicites. On notera que les verres médiévaux du groupe A sont proches des verres aux cendres de l'Antiquité.

Elles ont concerné notamment l'identification du type de verre (au natron ou aux cendres) et la détermination de l'origine de ces verres. Deux séries ont été analysées, l'une de l'époque de Thoutmosis III, l'autre d'Amenhotep IV (9). Dans les deux cas les conclusions sont les mêmes (Shortland et Tite 2000). On a deux ensembles de verres dans chacune des séries analysées, des verres au natron, bleu foncé au cobalt, et des verres aux cendres, bleu clair au cuivre. La question des origines est évidemment plus complexe, compte tenu de l'existence dès cette époque d'un commerce de verre brut en Méditerranée, depuis l'Égypte, mais aussi vers l'Égypte, dont témoignent la correspondance amarnienne, et, sans doute moins d'un siècle plus tard, l'épave d'Ulu Burun (Matošian 2000, p.40).

On accepte généralement l'idée que les verres bleu foncé au cobalt sont égyptiens, et que les verres bleu clair au cuivre sont syriens ou mésopotamiens. Bien que ces derniers aient pu être fabriqués eux aussi en Égypte par des artisans venus du Proche-Orient. Quoi qu'il en soit, on ne trouve guère, après la XVIII^{ème} dynastie, d'exemples qui permettraient de faire avancer les recherches sur ces questions, et l'on ne savait toujours pas si les ateliers primaires égyptiens avaient produit des verres aux cendres aux époques hellénistiques et romaines, avant les découvertes du *Wadi Natrun* (vraisemblablement du Haut-Empire).

Ces découvertes sont importantes, car c'est la première fois qu'on a la preuve directe de la fabrication en Égypte de verre aux cendres dans des ateliers primaires (cf.1.2 et note 4). Et le fait que ce soit justement dans un site d'exploitation du natron oblige à reconsidérer une nouvelle fois la question longuement débattue du remplacement en Occident, autour du X^e siècle, des verres au natron par les verres aux cendres.

4. Le remplacement des verres au natron par les verres aux cendres

C'est en Occident que le remplacement des verres au natron par les verres aux cendres a d'abord été observé, et considéré alors comme un phénomène, parmi bien d'autres, opposant l'Antiquité et le Moyen Âge. Et c'est bien plus tard qu'on a pu le situer autour du X^e siècle (Foy 2000, p.148 et 154). Vers les années 30, voire un peu avant, on pensait que le remplacement du natron importé, par des cendres produites localement, résultait de la rupture de l'approvisionnement en natron des verreries occidentales. On ignorait alors que celle-ci n'avaient jamais reçu de natron, et seulement du verre brut qu'elles transformaient en vaisselle de verre destinée au commerce de proximité, ce verre brut provenant des pays riverains de la Méditerranée orientale. Mais que l'on transporte du natron ou du verre brut, le problème de rupture de l'approvisionnement des verreries occidentales reste le même. Les raisons qu'on avançait alors pour expliquer cet arrêt des importations en Occident étaient d'ordre historique. Elles avaient notamment été exposées, et pour d'autres produits que le verre, par Henri Pirenne dans son ouvrage posthume « Mahomet et Charlemagne » (Pirenne 1999, 1935, p.120-128). Pirenne pensait que la rupture des relations commerciales entre l'Occident et l'Orient était due à l'arrivée de l'Islam et à sa très rapide extension. Or c'est un point de vue sur lequel on s'accorde mal aujourd'hui, les preuves archéologiques en faveur du maintien au moins partiel de ces relations, jusque

dans le cours du VIII^e siècle, s'accumulant (Bonifay 2005, Foy et Picon 2005). Cependant, c'est surtout lorsqu'on se rendit compte que l'artisanat verrier proche-oriental avait été affecté lui aussi par le même remplacement du natron par les cendres, et à la même époque, voire plus tôt, (Gratuze et Barrandon 1990 ; Freestone *et al.* 2000, p. 69-71), qu'il parut nécessaire de trouver d'autres explications à ce phénomène.

Une des difficultés auxquelles on se heurte, lorsqu'on cherche à comprendre ce qui pourrait avoir motivé l'abandon (partiel ou total ?) du natron dans la fabrication du verre, c'est de connaître aussi mal ses gisements, et particulièrement leur fonctionnement et leurs conditions d'exploitation. On commence certes à disposer de travaux intéressants sur les processus de cristallisation dans les lacs du *Wadi Natrun* (Shortland 2004). Mais on ne sait toujours rien de bien cohérent sur le système de sources qui les alimente. Ce sont pourtant des données indispensables pour apprécier la stabilité dans le temps de ces exploitations. Des phases de forte instabilité, se surajoutant à des évolutions climatiques apportant plus d'humidité, peuvent avoir empêché ou freiné le dépôt du natron, au point d'avoir conduit les verriers à préférer d'autres fondants, comme les cendres.

A cela il faut ajouter que les autres gisements de natron d'Égypte sont encore plus mal connus, qu'il s'agisse de Barnûjî au nord (fig.1), d'al-Kâb loin vers le sud, ou de tous ceux qui n'ont guère laissé de traces dans les mémoires (Décobert 2003).

Récemment une étude collective fort intéressante a été publiée, qui passe en revue les différentes causes pouvant expliquer l'abandon du natron et son remplacement par les cendres dans la fabrication du verre (Shortland *et al.* 2006). Les auteurs évoquent assez longuement l'instabilité politique et l'insécurité qui régnaient dans le Delta entre le début du VII^e siècle et la fin du IX^e, ce qui suffirait pensent-ils à justifier l'arrêt de l'exploitation du natron d'Égypte. Ils y ajoutent une cause supplémentaire, nouvelle, qui serait la forte augmentation de la demande en verre, laquelle reste à démontrer (d'autant que le stock de verre de récupération disponible devait être important à cette époque tardive). Ils font même de cet accroissement de la demande une des causes majeures de l'arrêt de la fabrication des verres au natron, celle-ci n'étant plus capable de suivre le rythme de cette forte autant que problématique extension. Les auteurs écartent en revanche l'idée qui avait été suggérée il y a quelques années du rôle qu'auraient pu jouer, dans ces transformations, les variations climatiques (Picon 2001, p.25-29). On y reviendra.

Une première remarque s'impose ici, qui concerne la persistance tardive, déjà évoquée, des exportations de verre au natron, en provenance du Proche-Orient, exportations limitées certes, mais bien réelles. De nouvelles séries de verres parviennent alors dans les ports de Méditerranée occidentale, comme la série 2.1, probablement égyptienne, aux VI^e et VII^e siècles, ou la série 3.3, sans doute syro-palestinienne, à la fin du VII^e siècle, ou la série 2.2, probablement égyptienne elle aussi, de la fin du VII^e siècle jusqu'au VIII^e (ou IX^e) (Foy *et al.* 2003 ; Foy et Picon 2005).

Puisque des séries de verres au natron arrivent en Occident, malgré l'instabilité politique et l'insécurité régnant au Proche-Orient, et particulièrement en Égypte, on ne voit pas ce qui aurait empêché que des séries plus nombreuses et plus importantes aient suivi le même chemin. Or il n'en fut rien, ce qui obligea les verriers occidentaux à se reconvertir dans la

9.- Thoutmosis III (1482-1450) ; Amenhotep IV (1379-1361). N. Grimal, *Histoire de l'Égypte ancienne*, coll. références, 416, Fayard 1988, p.272.

production locale de verres aux cendres. Le même phénomène se produisant en Syrie-Palestine (et peut-être aussi en Egypte, mais nous l'ignorons), on peut imaginer que ce sont les mêmes causes qui sont à l'origine de ce passage aux verres aux cendres, en Orient comme en Occident.

Tout ceci ressemble étrangement aux conséquences d'une disette prolongée de natron. C'est en tout cas l'hypothèse la plus économique, au sens que l'on donne habituellement à ce terme qui désigne l'hypothèse la plus simple, celle qui fait appel au plus petit nombre de suppositions, et aux moins hasardeuses d'entre elles.

Avec cette disette probable de natron, que ne paraît justifier ni l'instabilité politique, ni l'insécurité, on en reviendrait tout naturellement à une explication climatique, sans doute une augmentation de l'humidité, qui restreindrait considérablement l'exploitation du natron. Dans ces conditions la production des verres aux cendres du Wadi Natrun, étudiés ici, ne serait qu'un épisode temporaire préfigurant (dans le contexte politique relativement protégé du Haut-Empire, et donc à l'abri de l'instabilité politique et de l'insécurité) une situation climatique qui s'aggraverait vers la fin de l'Antiquité tardive (10). Si cette hypothèse se confirmait, elle signifierait que le système de formation et d'exploitation du natron était fragile, et qu'il n'y avait donc rien de surprenant à ce qu'il se soit déréglé durablement et en divers lieux (11). Quant à l'idée d'une augmentation massive de la demande, elle ne s'oppose pas à l'hypothèse d'une évolution climatique, mais ne paraît pas confirmée pour l'instant par les découvertes archéologiques. D'ailleurs il serait bien étrange que cet accroissement de la demande se soit produit deux fois, une fois au Haut-Empire et une autre fois à la fin de l'Antiquité tardive. Il paraît plus simple de penser à une instabilité de la production du natron qu'affecteraient profondément les fluctuations climatiques (12).

10.- La première tâche à entreprendre sera de rassembler les données climatiques relatives à la fin de l'Antiquité tardive en Egypte. C'est un travail qui pourrait bénéficier de l'intérêt porté actuellement aux évolutions climatiques. Pour le Sahara occidental différents indices paraissent confirmer le retour d'un temps plus humide au VII^e siècle, avant la reprise inéluctable de la désertification (cf. P. Elouard, dans les *Actes du colloque de Nouakchott*, 1973, sur « La désertification au sud du Sahara », cité dans J. Devisse, 1983, p.392). Cette période du VII^e au X^e siècle est d'ailleurs fertile en événements climatiques, en Afrique et hors d'Afrique (par exemple ceux qui ont présidé à l'aménagement de la voie caravanière d'Aoudaghost au VIII^e siècle, ou à la colonisation du Groenland au X^e siècle, etc...). Il faudra exploiter aussi la documentation sur les nappes phréatiques et les sources, dans la région du Delta. Sans écarter pour autant la recherche d'indices archéologiques ou scripturaires relatifs à une éventuelle et improbable augmentation massive de la demande en verre (Shortland *et al.* 2006, p.527).

11.- À ces dérèglements d'origine climatique ont pu s'ajouter des modifications topographiques et géologiques dues à la fragilité et à l'instabilité des formations deltaïques récentes ; elles ont pu affecter aussi la production du natron, mais en quelques lieux bien précis et, sans doute, pas au Wadi Natrun.

12.- Il est évident, par exemple, qu'au Wadi Natrun la surface maximale des lacs, signalée par les dépôts salins, est sans commune mesure avec leur surface actuelle (Shortland 2004, fig. 1, p.498).

Bonifay 2005 : Bonifay (M.), « La céramique en Provence à l'époque mérovingienne : un faciès résolument méditerranéen », dans *La Méditerranée et le monde mérovingien : témoins archéologiques*, Bulletin Archéologique de Provence, Supplément 3, APA éditions, p.85-97.

Déobert 2003 : Déobert (Ch.), « Le natron égyptien au Moyen Âge », dans *Echanges et commerce du verre dans le monde antique*, Actes du colloque de l'AFAV, Aix-en-Provence et Marseille, juin 2001, p.125-127.

Devisse 1983 : Devisse (J.), « En guise de conclusion : histoire et évolution de l'environnement », dans *Tegdaoust III / Recherches sur Aoudaghost / Campagnes*

1960/1965 / Enquêtes générales, Institut Mauritanien de la Recherche Scientifique, Editions Recherche sur les Civilisations, Paris, p.387-395.

Foy 2000 a : Foy (D.), « Technologie, Géographie, Economie / Les ateliers de verriers primaires et secondaires en Occident / Esquisse d'une évolution de l'Antiquité au Moyen Age », dans *La route du verre / Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.-C. au Moyen Age*, TMO 33, Maison de l'Orient, Lyon, p.147-170.

Foy et al. 2000 a : Foy (D.), Vichy (M.), Picon (M.), « "Lingots" de verre en Méditerranée occidentale (III^e s. av. J.-C. – VII^e s. ap. J.-C.), approvisionnement et mise en œuvre. Données archéologiques et données de laboratoire », dans *Annales du XIV^e congrès de l'AIHV*, Venise 1998, p.51-57.

Foy et al. 2000 b : Foy (D.), Picon (M.), Vichy (M.), « Les matières premières du verre et la question des produits semi-finis. Antiquité et Moyen Age », dans *Arts du feu et productions artisanales, XX^e Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes*, octobre 1999, p.419-432.

Foy et al. 2003 : Foy (D.), Picon (M.), Vichy (M.), Thirion-Merle (V.), « Caractérisation des verres de l'Antiquité tardive en Méditerranée occidentale : l'émergence de nouveaux courants commerciaux », dans *Echanges et commerce du verre dans le monde antique*, Actes du colloque de l'AFAV, Aix-en-Provence et Marseille, juin 2001, p.41-85.

Foy et Nenna 2001 : Foy (D.), Nenna (M.-D.), *Tout feu, tout sable / Mille ans de verre antique dans le Midi de la France*, Musées de Marseille / Editions Edisud, 2001.

Foy et Picon 2005 : Foy (D.), Picon (M.), « L'origine du verre en Méditerranée occidentale à la fin de l'Antiquité et dans le haut Moyen Âge », dans *La Méditerranée et le monde mérovingien : témoins archéologiques*, Bulletin Archéologique de Provence, Supplément 3, APA éditions, p.99-110.

Freestone et al. 2000 : Freestone (I.C.), Gorin-Rosen (Y.), Hughes (M.J.), « Primary Glass from Israel and the Early Islamic Period », dans *La route du verre / Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.-C. au Moyen Age*, TMO 33, Maison de l'Orient, Lyon, p.65-83.

Gorin-Rosen 2000 : Gorin-Rosen (Y.), « The Ancient Glass Industry in Israel / Summary of the finds and new discoveries », dans *La route du verre / Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.-C. au Moyen Age*, TMO 33, Maison de l'Orient, Lyon, p.49-63.

Gratuze et Barrandon 1990 : Gratuze (B.), Barrandon (J.-N.), « Islamic glass weights and stamps : analysis using nuclear techniques », dans *Archaeometry*, 32, 2, p.155-162.

Matoïan 2000 : Matoïan (V.), « Données nouvelles sur le verre en Syrie au II^e millénaire av. J.-C. / Le cas de Ras Shamra – Ugarit », dans *La route du verre / Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.-C. au Moyen Age*, TMO 33, Maison de l'Orient, Lyon, p.23-47 et photos 1 à 4.

Nenna et al. 2000 : Nenna (M.-D.), Picon (M.), Vichy (M.), *La route du verre / Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.-C. au Moyen Age*, TMO 33, Maison de l'Orient, Lyon, p.97-112, et photos 14 à 19.

Picon 2001 : Picon (M.), « Le verre un des premiers matériaux de synthèse », dans *Tout feu, tout sable / Mille ans de verre antique dans le Midi de la France*, Musées de Marseille / Editions Edisud, p.21-33.

Picon et Vichy 2003 : Picon (M.), Vichy (M.), « D'Orient en Occident : l'origine du verre à l'époque romaine et durant le haut Moyen Âge », dans *Echanges et commerce du verre dans le monde antique*, Actes du colloque de l'AFAV, Aix-en-Provence et Marseille, juin 2001, p.17-39.

Pirenne 1992 : Pirenne (H.), *Mahomet et Charlemagne*, Quadrige / PUF, (1^{ère} édition PUF 1970, manuscrit de 1935).

Shortland 2004 : Shortland (A.J.), « Evaporites of the Wadi Natrun : seasonal and annual variation and its implication for ancient exploitation », dans *Archaeometry*, 46, 4, p.497-516.

Shortland et al. 2006 : Shortland (A.), Schachner (L.), Freestone (I.), Tite (M.), « Natron as a flux in the early vitreous materials industry : sources, beginnings and reasons for decline », dans *Journal of Archaeological Science*, 33, p.521-530.

Shortland et Tite 2000 : Shortland (A.J.), Tite (M.S.), « Raw materials of glass from Amarna and implications for the origins of Egyptian glass », dans *Archaeometry*, 42, 1, p.141-151.

Thirion-Merle et al. 2002-2003 : Thirion-Merle (V.), Nenna (M.-D.), Picon (M.), Vichy (M.), « Un nouvel atelier primaire dans le Wadi Natrun (Egypte), et les compositions des verres produits dans cette région », dans *Bulletin de l'AFAV*, p.21-24.

Turner 1956 : Turner (W.E.S.), « XIV – Studies in Ancient Glasses and Glassmaking Processes. Part V. Raw Materials and Melting Processes », dans *Journal of the Society of Glass Technology*, p.277T-300T.