

Un verre méditerranéen pour la production de bracelets laténiens en Europe septentrionale.

Résultats d'analyses SEM-EDX et LA-ICP-MS de bracelets en verre La Tène tardive de Odijk, Tiel et Geldermalseren-Hondsgemet Peter COSYNS, Simone CAGNO, Koen JANSSENS, Karin NYS¹

mots-clés : La Tène, bracelets, Pays-Bas, provenance, distribution du verre, analyses chimiques

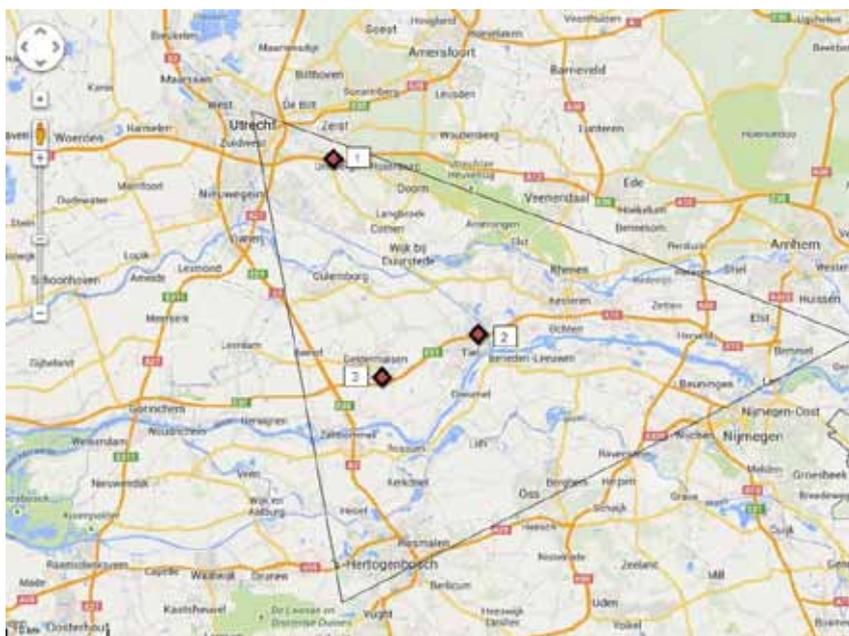


Fig. 1 Carte géographique avec les sites. 1 : Odijk, 2: Tiel, 3 : Geldermalseren-Hondsgemet.

Notes

1 Peter Cosyns (pcosyns@vub.ac.be) et Karin Nys, Département des Sciences d'Art et Archéologie (SKAR), Université Libre de Bruxelles (VUB); Simone Cagno et Koen Janssens, Département de Chimie, Université d'Anvers.

2 Roymans & Verniers (2009, 22) parlent de 4539 ex. pour les Pays-Bas.

3 Nous remercions le centre archéologique de l'université libre d'Amsterdam (ACVU-hbs) pour m'avoir mis à notre disposition le matériel.

4 La typologie la plus utilisée est celle établie par Thea E. Haevernick, bien que d'autres ont été proposés plus récemment. Les typologies par Peddemors (1975) et Gebhard (1989a-b) ont créé une version plus élaborée de la typologie de Haevernick en mettant respectivement l'accent sur la section et la couleur.

Introduction

L'idée d'une production locale de verre brut aux Pays-Bas durant la période laténienne tardive, instaurée par Peddemors (1975) reste vivante à ce jour (Roymans, Van Rooijen 1993 ; Roymans, Verniers 2009 ; 2010). Les énormes quantités de bracelets en verre déjà enregistrés dans la partie orientale des Pays-Bas² et une présence élevée de verre pourpre sont à la base de cette proposition (Roymans, Van Rooijen 1993; Roymans, Verniers 2009; 2010). Pour y mettre un terme, on a analysé 25 fragments en verre pourpre très foncé d'Odijk, Tiel et Geldermalseren-Hondsgemet – trois sites d'habitat ruraux datés de La Tène tardive dans la partie occidentale de la région des grandes rivières dans le triangle Utrecht, Arnhem/Nimègue's Hertogenbosch (fig. 1)³. Les résultats d'analyses ont été comparés avec la composition chimique de verre identique d'autres régions et de verre pourpre foncé d'apparence noire de la période romaine.

Les sites d'Odijk (Verhelst, Schurmans 2007), Tiel (Heeren 2006) et Geldermalseren-Hondsgemet (Van Renswoude, Van Kerckhove 2009) ont livré 67 fragments de bracelets en verre (fig. 2). Le matériel analysé consiste en 24 fragments de bracelets et un lingot de verre brut en verre pourpre

très foncé d'apparence noire. Le matériel date de la période La Tène tardive (LT D = I^{er} s. av. – début I^{er} apr. J.-C.), les contextes de Geldermalseren-Hondsgemet étant datés plus précisément entre 80-50 av. J. C.

Les fragments de bracelets des trois sites se répartissent en six types de la typologie de Haevernick (1960)⁴ (ensuite cité par H) et chaque type peut être subdivisé en deux variantes sur la base de la présence ou de l'absence d'un fil de verre opaque blanc ou jaune en zigzag (variante a = non - décorée ; variante b = décorée) (fig. 2-3). Une répartition en fonction du nombre de sections est également possible : (1) en section D = type H3 (56 ex.) ; (2) bilobés = type H7d (1 ex.) ; (3) trilobés = type H6b et H8a (4 ex.) ; (4) à cinq lobes = type H7a (2 ex.). Sept des 25 fragments répertoriés ont, dans un second temps, été remaniés en des anneaux plus petits (3 ex. H 3a ; 3 ex. H 3b ; 1 ex. H 6b).

La haute concentration de bracelets en verre pourpre (51%) a toujours été considérée comme caractéristique des Pays-Bas (Peddemors 1975 ; Roymans, Van Rooijen 1993). Cependant, le verre pourpre paraît également très répandu dans d'autres régions du bassin rhénan: le sanctuaire (« temple gaulois ») de Mandeuire (Doubs) a livré 94 pièces pourpres sur 146, soit 62 % (Guillard 1989, 146-148, figs 3-5), l'agglomération et la nécropole à Basel-Gasfabrik (Suisse) ont livré 131 pièces pourpres sur 325, soit 41 % (Rissanen 1999, 150-152).

Le lingot en verre d'Odijk a vraisemblablement été utilisé pour la production de parure et sa découverte indique sans doute une production secondaire locale (fig. 4). En se fondant sur l'étude du matériel en verre de Hengistbury Head (Angleterre), Henderson (1987a-b, 181) estime que des morceaux de lingots en verre d'un total de 99,5 g suffisent pour faire 20 bracelets à section D, le fragment d'Odijk, qui mesure 67 x 22 x 9,5 mm et pèse 24 g, suffirait pour fabriquer cinq bracelets de type H3a. Mais des lingots en verre, et particulièrement ceux en verre pourpre, ont été répertoriés dans d'autres lieux (fig. 5) et mettent donc en évidence la présence courante d'ateliers verriers secondaires en Europe septentrionale.

Méthodologie

Les échantillons ont été insérés dans des résines

Haevernick	lobes	brun			incolore			bleu			pourpre			TOTAL	
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	n	%
type 3a	1	-	-	2	-	-	-	1	4	8	1 (1)	2 (2)	8 (6)	26	39
type 3b	1	-	-	-	-	-	-	-	5	9	-	3 (2)	13 (8)	30	45
type 6b	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 (3)	3	4	
type 7a	5	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1 (1)	-	2	3	
type 7d	2	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	2 (1)	4	6	
type 8a	3	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1,5	
lingot en verre		-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 (1)	-	1	1,5	
TOTAL				3 = 4%			1 = 1,5%			29 = 43%			34 (25) = 51%	67	100

Fig. 2 Répartition typologique du verre laténien des sites d'Odijk (1), de Tiel (2) et de Geldermalsere-Hondsgemet (3).

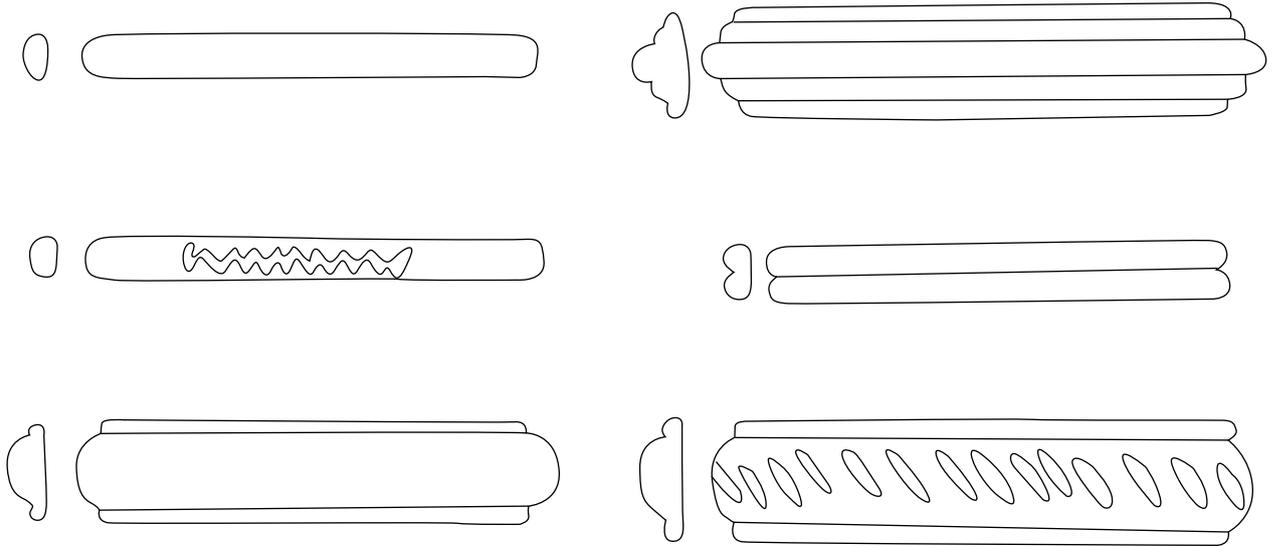


Fig. 3 Les types de bracelets d'Odijk, Tiel et Geldermalsere-Hondsgemet, selon la typologie de Th. Haevernick (1960).

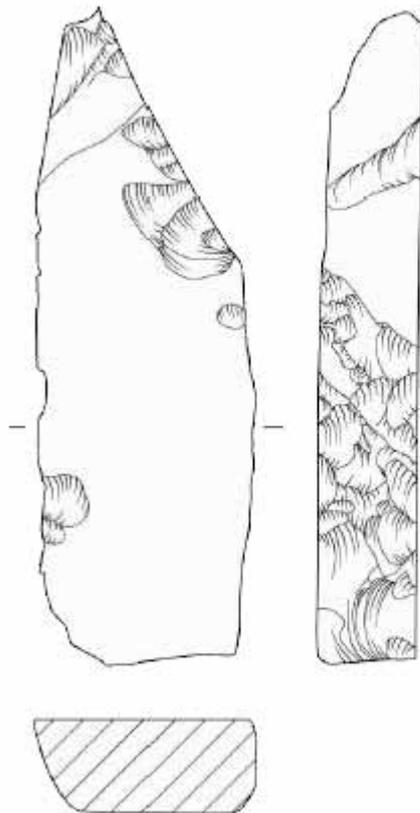


Fig. 4 Lingot en verre VI.3 d'Odijk (© ACVU-hbs, Schuurig 2007, fig. 10.3).

site	poids en g	références
Manching (Allemagne)	450	Krämer 1960, 197, pl. XXIVb ; Gebhard 1989b, 148, pl. 37, 484
Bâle-Gasfabrik (Suisse)	120	Berger 1974, 63; Berger, Furger-Gunti 1980, 63
Stradonice (Slovaquie)	?	Venclová 1972, 45, n° 5
Staré Hradisko (République Tchèque)	?	Meduna 1970, pl.17, n°s 14;18

Fig. 5 Liste de lingots en verre pourpre de sites laténiens tardifs.

acryliques qui ont été polies mécaniquement avec un papier de carbure de silicium et polie à la pâte de diamant afin d'obtenir une surface lisse et non - altérée.

Tous les fragments ont été analysés par microscopie électronique à balayage (MEB) (JEOL 6300) avec spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie. Les spectres ont été relevés pendant 100 secondes avec un faisceau électronique de 2 nA, avec une tension de 20 kV et magnification 500x. Les concentrations ont été calculées par un programme de quantification sans standards ZAF (Schalm, Janssens 2003). Le contenu des éléments majeurs (et mineurs) (> 1%), *i.e.* Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, SO₃, Cl, K₂O, CaO, TiO₂, MnO, Fe₂O₃, PbO, a été quantifié et émis en poids pourcentage.

Afin de pouvoir quantifier les éléments traces, une des deux résines (pc 10) a été analysée par spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif avec prélèvement par ablation laser (LA-ICPMS) à l'Université de Varsovie. Le ICP-MS ELAN 9000 (Perkin Elmer, SCIEX, Canada) est équipé avec un système de prélèvement par ablation laser LSX-200⁺ (CETAC, USA). Pour obtenir les données par LA-ICP-MS, les résines ont été insérées une par une dans la cellule pour ablation au laser sur une table de déplacement 3D ultra-précise. Chaque cycle de mesure consiste en deux phases : la première phase, durant laquelle aucun signal n'est enregistré, efface toute contamination à la surface par un premier passage du faisceau laser à basse énergie. Dans la deuxième phase, l'ablation du matériel est faite par le laser avec une puissance majeure et est accompagnée par l'enregistrement des signaux. Préalablement et durant les mesures LA-ICP-MS, le spectromètre a été calibré avec le standard NIST SRM 610, comme standard externe et avec l'élément ⁴³Ca utilisé comme standard interne (Wagner, Bulska 2004 ; Šmit *et al.* 2005 ; Wagner *et al.* 2008). Les signaux d'intensités ont été enregistrés avec succès pour un grand nombre d'isotopes, comprenant des éléments traces et mineurs (< 1%), émis en µg/g d'oxyde *i.e.* B₂O₃, TiO₂, V₂O₅, CoO, CuO, ZnO, Rb₂O, SrO, Y₂O₃, ZrO₂, Nb₂O₅, Sb₂O₅, BaO, La₂O₃, Ce₂O₃, PbO.

Résultats d'analyses par microscope électronique à balayage (MEB) (fig. 6)

La figure 6 montre une assez grande homogénéité entre les verres échantillonnés. Tous sont du type calco-sodique à soude minérale, caractéristique de toute l'Antiquité (VIII^e s. av. – VIII^e s. apr. J.-C.) (Gratuze 2013, 321, fig. 5.1.4). Les échantillons

examinés ont un pourcentage de Na₂O et de CaO qui se situe respectivement entre 14-24 % et 4-10 %.

La teneur en oxyde potassique (K₂O) et en oxyde de magnésium (MgO), bien en dessous de 1.5% (fig. 8), nous permet de classer tous les fragments échantillonnés comme des verres sodiques à soude minérale. L'utilisation de soude végétale comme fondant aurait causé un taux de potassium et de magnésium beaucoup plus élevé (3-4%).

Les concentrations de Na₂O (24%) et de CaO (4%) dans certains échantillons peuvent sembler extrêmes pour du verre romain, mais on peut penser que c'est probablement dû au taux de natron plus élevé qui a eu pour conséquence la dilution du taux de calcium présent dans le sable. L'oxyde de calcium (CaO) démontre une large variation entre 4 et 10 % (fig. 9). Il est fort probable que la présence du calcium soit due aux impuretés de calcaire dans le sable, mais les valeurs plus élevées peuvent également être considérées comme des preuves d'une addition intentionnelle de calcium, éventuellement sous la forme de calcaire broyé. En dehors de la baisse de la température de fusion, les verriers romains connaissaient également l'effet du calcium comme stabilisateur du verre offrant une meilleure résistance. La teneur très stable d'aluminium (Al₂O₃) entre 1.4 - 2 % est le résultat de minerais, comme le feldspath, présents dans le sable siliceux, comme impureté. Le taux d'oxyde de fer (Fe₂O₃) très bas et assez constant varie entre 0.3 - 0.6 % dans tous les échantillons, et met en évidence que le fer a été introduit dans le verre par le sable contenant un pourcentage de minerai de fer, comme par exemple l'hématite et la magnétite.

La couleur pourpre du verre est obtenue par les concentrations d'oxyde de manganèse (MnO) variant entre 1.6 - 4.2 %. Normalement le taux de MnO ne dépasse 0.6 % pour les verres romains non pourpres (Brill 1999 ; Aerts *et al.* 2003) et est attribuable aux impuretés présentes dans le sable. Dans ces cas, la concentration de MnO montre une corrélation avec le fer. L'absence de corrélation (R²=0.14) entre Fe₂O₃ et MnO comme le montrent les fragments analysés, est le résultat de l'ajout d'un minerai de manganèse comme, par exemple, la pyrolusite (MnO₂) (fig. 10).

Quatre échantillons (pc 9b ; e ; pc 10f ; 10j) contiennent un taux faible d'oxyde de plomb (PbO) entre 1.3 et 2.3 %. L'ajout d'une quantité de plomb a pour effet une meilleure maniabilité du verre fondu, mais les pourcentages observés ici ne sont

échantillon	typologie	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	PbO
PC9a	Haevernick 3a	14.47	0.76	1.71	71.21	0.00	0.00	0.75	0.97	7.39	0.02	2.37	0.37	0.00
PC9b	Haevernick 6a	17.43	0.74	1.72	65.94	0.00	0.00	0.70	0.62	8.89	0.07	2.13	0.46	1.32
PC9c	Haevernick 3b	15.33	1.05	1.96	70.08	0.00	0.00	0.70	0.77	7.65	0.03	1.80	0.63	0.00
PC9d	Haevernick 6b	17.94	0.73	1.73	68.48	0.00	0.00	0.78	0.80	7.25	0.00	1.78	0.52	0.00
PC9e	Haevernick 7b	17.70	0.78	1.67	65.79	0.00	0.00	0.71	0.57	8.72	0.04	2.04	0.44	1.55
PC9f	Haevernick 3a	19.01	0.57	1.80	67.37	0.00	0.07	0.64	0.68	7.48	0.04	2.05	0.31	0.00
PC9g	Haevernick 3a	18.72	0.68	1.79	68.60	0.00	0.03	0.83	0.70	6.40	0.02	1.91	0.34	0.00
PC9h	Haevernick 3a	16.19	0.68	1.64	68.90	0.00	0.00	0.77	0.75	8.96	0.02	1.79	0.32	0.00
PC9i	Haevernick 3a	18.15	1.01	1.98	65.71	0.00	0.24	0.65	1.24	8.53	0.02	2.04	0.43	0.00
PC9j	Haevernick 3b	13.42	0.14	1.32	70.15	0.00	0.01	0.04	0.51	9.66	0.03	4.19	0.54	0.00
PC9k	Haevernick 3b	17.05	0.57	1.67	70.16	0.00	0.02	0.85	0.88	6.51	0.02	1.96	0.33	0.00
PC9l	Haevernick 3b	18.22	0.52	1.68	69.88	0.00	0.00	0.87	0.76	6.03	0.02	1.72	0.30	0.00
PC10a	Haevernick 3b	20.43	0.52	1.89	69.23	0.00	0.00	0.64	0.76	4.61	0.02	1.63	0.28	0.00
PC10b	Haevernick 3a	19.42	0.79	1.85	67.75	0.00	0.02	0.80	0.89	5.27	0.02	2.78	0.41	0.00
PC10c	Haevernick 3b	15.61	0.66	1.80	68.89	0.00	0.31	0.60	0.73	7.37	0.03	3.44	0.58	0.00
PC10d	Haevernick 3b	13.48	0.62	2.01	70.01	0.00	0.02	0.83	1.01	8.32	0.07	2.65	0.97	0.00
PC10e	Haevernick 3b	14.22	0.91	2.05	69.90	0.00	0.00	0.77	1.02	8.10	0.10	2.32	0.62	0.00
PC10f	Haevernick 6a	14.50	0.63	1.62	65.75	0.00	0.00	0.89	0.78	9.80	0.04	3.09	0.63	2.29
PC10g	Haevernick 7a	17.76	0.70	1.71	68.50	0.00	0.01	0.88	0.85	6.11	0.07	2.86	0.57	0.00
PC10h	Haevernick 3a	21.03	0.85	1.82	64.53	0.00	0.00	0.93	0.83	7.13	0.04	2.35	0.51	0.00
PC10i	Haevernick 3a	24.26	0.72	1.69	64.36	0.00	0.04	0.94	0.71	4.24	0.02	2.70	0.33	0.00
PC10j	Haevernick 3b	21.80	0.69	1.81	64.06	0.00	0.00	0.67	0.56	6.45	0.01	1.99	0.41	1.56
PC10k	Haevernick 3b	22.97	0.80	1.68	63.87	0.00	0.16	0.69	0.72	6.20	0.01	2.53	0.36	0.00
PC10l	produit semi-fini	19.58	0.83	1.70	65.87	0.00	0.00	0.87	0.92	6.92	0.03	2.92	0.37	0.00
PC10m	Haevernick 3a	16.93	0.47	1.74	70.99	0.00	0.02	0.75	0.93	5.75	0.06	2.05	0.33	0.00

Fig. 6 Concentrations des éléments majeurs en poids % par analyses au microscope électronique à balayage (MEB-SEM-EDX) (MITAC, Université d'Anvers) (en italique, fragments de bracelets retailés en petit anneau)

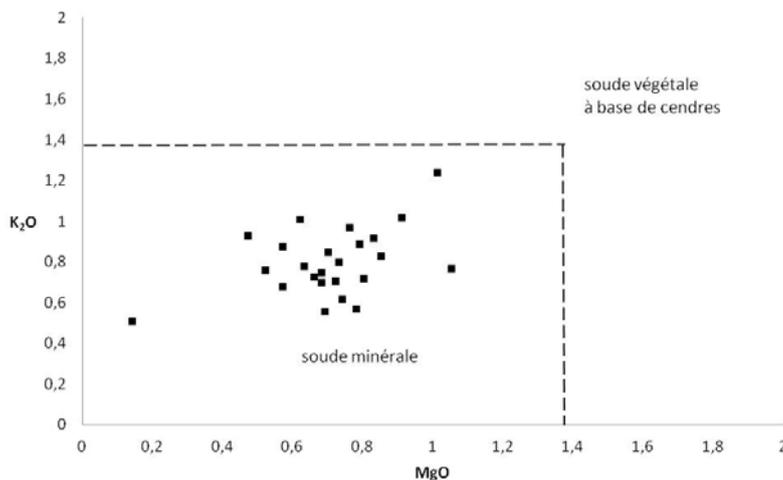


Fig. 8 Biplot des concentrations de K₂O et MgO de verres analysés (% poids).

pas assez élevés pour avoir eu un effet adéquat. Il est possible que l'oxyde de plomb (commun à la période romaine comme matière résiduelle de l'extraction de l'argent lors de l'exploitation du minerai de galène) ait été employé dans l'atelier verrier pour créer une teinte plus rouge du verre coloré par le manganèse (Bamford 1977). Il peut aussi provenir plus simplement du recyclage de faibles quantités de verre opaque dans les ateliers primaires ou intermédiaires.

Aucune différence remarquable n'apparaît

quand on compare les moyennes des groupes typologiques : les caractéristiques les plus évidentes – la présence ou l'absence du plomb et la grande variabilité des taux de calcium et de sodium – sont diffuses et ne sont pas limitées à un seul type de bracelets.

Il n'y a pas de différence évidente observable quand on compare la composition des bracelets analysés avec d'autres études. Les résultats d'analyses sur du matériel contemporain de la région du Rhin supérieur montrent une teneur de MnO un peu plus basse (0.8-2.8 % MnO), excepté en un cas qui contenait également 0.1 % de PbO (Burkhardt 2006). Certes, la moyenne des oxydes considérés se compare aisément à celle observée pour les bracelets d'Odijk, Tiel et Geldermalseren-Hondsgemet.

La très haute concentration de manganèse est l'indice le plus marquant de ce verre et peut être rattachée au processus de coloration, impliquant l'addition de matériel contenant du manganèse à un verre importé du Levant vers les ateliers secondaires en Europe. Une provenance similaire des ateliers primaires de Méditerranée orientale est envisageable pour le verre pourpre des sites de la région rhénane supérieure et inférieure ainsi que la refonte de lingots dans des ateliers secondaires pour la fabrication d'objets de consommation. De plus, le matériel d'Odijk, Tiel et Geldermalseren-Hondsgemet ne montre pas de différences majeures par rapport à la composition

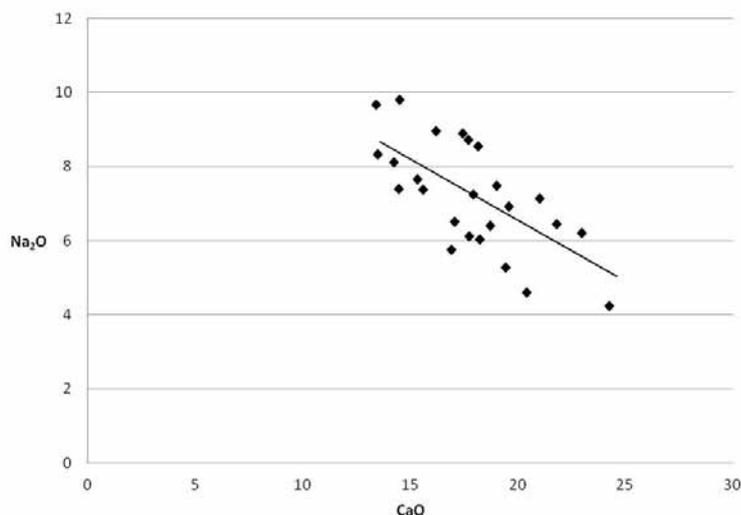


Fig. 9 Biplot des concentrations de Na₂O et CaO de verres analysés (% poids).

du verre romain aux I^{er} – II^e s. apr. J.-C. Cette homogénéité dans la composition du verre pourpre romain et laténien de France, d'Italie, de Suisse, de Slovénie et des Pays-Bas a déjà été observée (Van der Linden *et al.* 2009).

Résultats d'analyses LA-ICP-MS (fig. 7)

La composition des verres analysés au niveau des éléments traces est analogue au verre commun de la période romaine fait avec un sable de Méditerranée orientale comme source de silice détenant des impuretés particulières, comme le titane, zirconium, cérium, baryum et strontium (fig. 11). Aucun échantillon ne contient une concentration divergente ce qui corrobore l'hypothèse selon laquelle tous les fragments échantillonnés ont été fabriqués avec un verre fait à partir de matières brutes de même origine (ou similaire). De plus, aucune différence substantielle n'a été observée en comparant les compositions moyennes des groupes typologiques.

Une teneur basse de cuivre et de cobalt a été observée, excepté sur deux échantillons qui montrent un taux de CoO (0.006-0.025 %) et de CuO (0.020-0.042 %) plus élevé (fig. 12). En particulier, le deuxième fragment a une teneur d'oxyde de cobalt suffisamment élevée pour produire une couleur bleue, même si cela est contré par le pourcentage élevé de Mn qui génère une coloration pourpre. La teneur en cuivre, qui est associé au cobalt, est généralement présente dans le minerai de cobalt, puisque ce dernier est normalement extrait de gisements riches en cuivre. Un ajout volontaire d'oxydes de cobalt et de cuivre est cependant peu probable ; on verrait plutôt ici la présence de verre bleu dans le lot de verre à recycler.

Pour la couleur pourpre, un minéral de manganèse relativement pur a été utilisé puisqu'aucune corrélation nette n'a été observée entre le colorant

	B ₂ O ₃	TiO ₂	Y ₂ O ₃	CoO	CuO	ZnO	Rb ₂ O	SiO ₂	Y ₂ O ₃	ZrO ₂	Nb ₂ O ₅	SnO ₂	BaO	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	PbO
échantillon																
PC10a	0.1412	0.0486	0.0038	0.0014	0.0016	0.0015	0.0611	0.0533	0.0007	0.0049	0.0001	0.0612	0.0532	0.0007	0.0612	0.0028
PC10b	0.0323	0.0596	0.0090	0.0022	0.0026	0.0018	0.0013	0.0580	0.0008	0.0054	0.0002	n.d.	0.1092	0.0008	0.0013	0.0017
PC10c	0.0725	0.0774	0.0058	0.0024	0.0016	0.0037	0.0009	0.1104	0.0011	0.0070	0.0002	0.0198	0.0449	0.0011	0.0018	0.6405
PC10d	0.0318	0.0936	0.0057	0.0061	0.0195	0.0042	0.0011	0.0958	0.0011	0.0072	0.0003	0.0238	0.0410	0.0010	0.0016	0.0511
PC10e	0.0333	0.0740	0.0036	0.0013	0.0012	0.0025	0.0012	0.0728	0.0009	0.0062	0.0002	0.0009	0.0381	0.0009	0.0015	0.0080
PC10f	0.0491	0.0529	0.0052	0.0015	0.0034	0.0030	0.0009	0.1079	0.0013	0.0052	0.0002	0.0204	0.0550	0.0011	0.0016	1.3929
PC10g	0.0329	0.0589	0.0042	0.0017	0.0010	0.0026	0.0012	0.0813	0.0009	0.0050	0.0002	0.0004	0.0419	0.0009	0.0014	0.0008
PC10h	0.0433	0.0640	0.0046	0.0252	0.0415	0.0037	0.0012	0.1157	0.0012	0.0057	0.0002	0.0061	0.0422	0.0010	0.0017	0.0135
PC10i	0.0510	0.0550	0.0050	0.0021	0.0012	0.0031	0.0012	0.0984	0.0008	0.0050	0.0002	0.0015	0.0481	0.0009	0.0014	0.0033
PC10j	0.0507	0.0539	0.0054	0.0015	0.0035	0.0033	0.0009	0.1120	0.0013	0.0052	0.0002	0.0216	0.0581	0.0011	0.0017	1.5340
PC10k	0.0452	0.0557	0.0044	0.0021	0.0016	0.0026	0.0011	0.1017	0.0009	0.0050	0.0002	0.0026	0.0466	0.0009	0.0015	0.0044
PC10l	0.0318	0.0521	0.0051	0.0022	0.0011	0.0035	0.0014	0.1131	0.0010	0.0048	0.0002	n.d.	0.0436	0.0009	0.0016	0.0012
PC10m	0.1426	0.0468	0.0038	0.0014	0.0016	0.0015	0.0012	0.0574	0.0008	0.0051	0.0002	0.0013	0.0620	0.0008	0.0014	0.0034

Fig. 7 Concentrations des éléments mineurs et traces en poids % par LA-ICP-MS (Université Technologique de Varsovie) (n.d. : non détecté)

Fig. 11 Impuretés dans le sable côtier de la Méditerranée orientale

impuretés dans le sable	oxyde	concentration	mineral
titanium	TiO ₂	0.05-0.09%	ilménite
zirconium	ZrO ₂	50-70 µg/g	
césium	Ce ₂ O ₃	10-20 µg/g	monazite
baryum	BaO	0.04 – 0.1%	feldspath
strontium	SrO	0.05-0.1%	aragonite

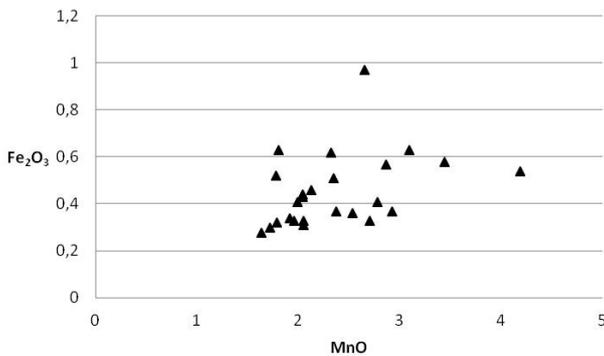


Fig. 10 Biplot des concentrations de MnO et Fe₂O₃ des verres analysés (ppm)

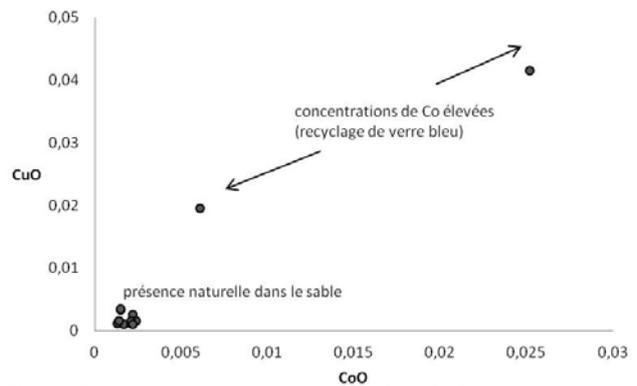


Fig. 12 Biplot des concentrations de CuO et CoO des verres analysés (ppm)

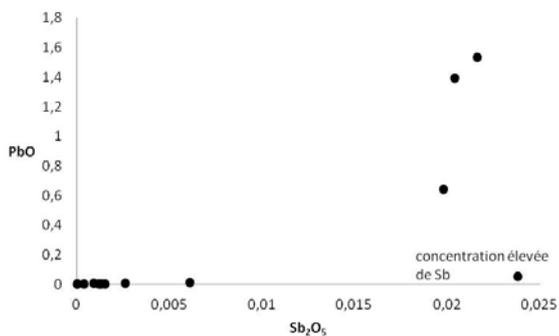


Fig. 13 Biplot des concentrations de PbO et Sb₂O₅ des verres analysés (ppm)

manganèse et d'autres éléments.

Enfin, les échantillons avec un taux de plomb élevé montrent un pourcentage d'antimoine, Sb₂O₅ (> 0.02 au lieu de 0.005 %) élevé, comparable à d'autres échantillons avec un taux de plomb très bas ou complètement absent (**fig. 13**). Cette observation corrobore l'hypothèse suggérée précédemment, selon laquelle l'oxyde d'antimoine était présent dans les antimonates de plomb utilisés pour rendre le verre opaque, et démontre donc l'utilisation du verre opaque recyclé dans les ateliers primaires ou intermédiaires où le verre brut a été coloré.

La provenance du verre utilisé pour la fabrication des bracelets en verre des sites de Geldermalseren-Hondsgemet, Tiel et Odijk doit être située en Méditerranée orientale et plus particulièrement sur la côte syro-palestinienne puisque les verres analysés sont similaires aux verres romains de fabrication méditerranéenne orientale. Une comparaison entre les verres contemporains de la région rhénane (Burkhardt 2006) et les verres pourpres laténiens et romains (Van der Linden *et al.* 2009) ne démontre pas de différence, sauf dans quelques cas, avec une concentration plus élevée d'éléments liés au sable. Quelques-uns de ces échantillons montrent une présence d'oxyde

de cobalt et de cuivre comme certains des bracelets de Geldermalseren-Hondsgemet, Tiel et Odijk. Le seul fragment qui diffère des autres avec un taux plus élevé de Zr, Sr et un pourcentage inhabituel d'oxyde d'antimoine (1.8 % de Sb₂O₅) est un fragment de Sainte-Menehould qui date de la période romaine tardive.

Conclusion

Si des ateliers primaires de verre avaient existé aux Pays-Bas, ils auraient produit un verre qui se serait distingué des verres contemporains mais, comme on l'a vu à travers cette contribution, aucune différence substantielle n'a été perçue dans le verre pourpre de la période laténienne tardive et de la période romaine précoce de différents sites européens, à l'exception du taux de manganèse utilisé pour la coloration. De plus, les résultats de l'analyse chimique des bracelets laténiens tardifs en verre pourpre démontrent clairement une composition de verre de provenance méditerranéenne. En conséquence, l'hypothèse d'une production primaire locale dans la région des grandes rivières à l'est des Pays-Bas, proposée anciennement par Peddemors (1975) et soutenue par Roymans (1993 ; 2009 ; 2010) ne tient plus, car il est peu probable que les matières brutes – le sable et le natron – aient été importées sur une aussi longue distance vers l'Europe septentrionale. D'autre part, des ateliers verriers secondaires – où ont été refondus des lingots en verre brut importés – devaient être actifs dans la région du confluent des grandes rivières à l'est des Pays-Bas, le Rhin, la Meuse, la Waal, comme dans toute l'Europe celtique, par exemple à Hengistbury Head, Manching et Basel-Gasfabrik. Enfin, l'hypothèse d'une importation du bassin rhénan méridional n'est pas exclue, mais nécessite une étude renouvelée et détaillée des formes et couleurs utilisées dans les différentes régions.

Bibliographie

- Aerts et al. 2003** : Aerts (A.), Velde (Br.), Janssens (K.), Dijkman (W.) : « Change in silica sources in Roman and post-Roman glass », *Spectrochimica Acta B* 58, 2003, 659-667.
- Bamford 1977** : Bamford (C. R.) : *Colour generation and control in glass*. Amsterdam/New York: Elsevier Scientific Pub. Co., 1977.
- Berger 1974** : Berger (L.) : « Die mittlere und späte Latènezeit im Mittelland und Jura », *Ur- und Frühgeschichtliche Archäologie der Schweiz*, Band IV, Die Eisenzeit, Basel, 1974, 61-88.
- Berger, Furger-Gunti 1980** : Berger (L.), Furger-Gunti (A.) : *Katalog und Tafeln der Funde aus der spätkeltischen Siedlung Basel-Gasfabrik, Untersuchungen zur spätkeltisch-frühromanischen Übergangszeit in Basel*. Basler Beiträge zur Ur und Frühgeschichte 17, Derendingen/Solothurn, 1980.
- Brill 1999** : Brill (R. H.) : *Chemical Analyses of Early Glass, Volume 1: Catalogue of Samples* New York: The Corning Museum of Glass, 1999.
- Burkhardt 2006** : Burkhardt (A.) : « IX. Analytischer Bericht », in: Wagner (H.) *Glasschmuck der Mittel- und Spätlatènezeit am Oberrhein und den angrenzenden Gebieten*, Ausgrabungen und Forschungen 1, Remshalden: Verlag Bernhard Albert Greiner, 2006, 323-336.
- Gebhard 1989a** : Gebhard (R.) : « Pour une nouvelle typologie des bracelets celtiques en verre », in : Feugère (M.) dir. : *Le verre pré-romain en Europe occidentale*. Montagnac: éditions Monique Mergoïl, 1989, 77-83.
- Gebhard 1989b** : Gebhard (R.) : *Der Glasschmuck aus dem Oppidum von Manching* (Ausgrabungen Manching 11). Stuttgart : Franz Steiner Verlag Wiesbaden GmbH, 1989.
- Gratuze 2013** : Gratuze (B.) : « 5.1 Provenance Analysis of Glass Artefacts », in: Janssens (K.) dir. : *Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass*. Chichester: Wiley, 2013, 311-343.
- Guillard 1989** : Guillard (M.-C.) : « La verrerie protohistorique de Mandeuve (Doubs) », in : Feugère (M.) dir. : *Le verre pré-romain en Europe occidentale*. Montagnac: éditions Monique Mergoïl, 1989, 145-152.
- Haevernich 1960** : Haevernich (Th. E.) : *Die Glasarmringe und Ringperle der Mittel- und Spätlatènezeit auf dem europäischen Festland*. Bonn, 1960.
- Heeren 2006** : Heeren (S.) : *Opgravingen bij Tiel-Passewaaij 1. De nederzetting aan de Passewaaijse Hogeweg* (Zuidnederlandse Archeologische Rapporten 29). Amsterdam, 2006.
- Henderson 1987a** : Henderson (J.) : « Glass », in: Cunliffe (B.) dir. : *Hengistbury Head, Dorset. Volume 1 : The Prehistoric and Roman Settlement, 3500 BC-AD 500*, Monograph 13, Oxford, Oxford University Committee for Archaeology, 1987, 160-163.
- Henderson 1987b** : Henderson (J.) : « Glass working », in: Cunliffe (B.) dir. : *Hengistbury Head, Dorset. Volume 1 : The Prehistoric and Roman Settlement, 3500 BC-AD 500*, Monograph 13, Oxford, Oxford University Committee for Archaeology, 1987, 180-186.
- Krämer 1960** : Krämer (W.) : « The Oppidum of Manching », *Antiquity* XXXIV, 1960, 191-200, pl. XXIV.
- Meduna 1970** : Meduna (J.) : « Das keltische Oppidum Staré Hradisko in Mähren », *Germania*, 48, 1970, 34-59.
- Peddemors 1975** : Peddemors (A.) : « Lateneglasarmringe in den Niederlanden », *Analecta Praehistorica Leidensia* 8, 1975, 93-145.
- Rissanen 1999** : Rissanen (H.) : « Die Glasfunde aus der spätlatenezeitlichen Siedlung Basel-Gasfabrik », *Annuaire de la Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie*, 82, Basel, 1999, 149-161.
- Roymans, van Rooijen 1993** : Roymans (N.), van Rooijen (Th.) : « De voorromeinse glazen armbandproductie in het Nederrijnse gebied en haar culturele betekenis », *Vormen uit vuur*, 150, 1993, 2-10.
- Roymans, Verniers 2009** : Roymans (N.), Verniers (L.) : « Glazen La Tène-armbanden in het gebied van de Nederrijn. Typologie, chronologie en sociale interpretatie », *Archeobrief*, 4, 2009, 22-31.
- Roymans, Verniers 2010** : Roymans (N.), Verniers (L.) : « Glass La Tène Bracelets in the Lower Rhine Region. Typology, Chronology and social Interpretation », *Germania*, 88, 2010, 195-219.
- Schalm, Janssens 2003** : Schalm (O.), Janssens (K.) : « A flexible and accurate quantification algorithm for electron probe x-ray microanalysis based on thin-film element yields », *Spectrochimica Acta*, 58 Part B, 2003, 669-680.
- Šmit et al. 2005** : Šmit (Ž.), Janssens (K.), Bulska (E.), Wagner (B.), Kos (M.), Lazar (I.) : « Trace element fingerprinting of façon-de-Venise glass », *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 239, 2005, 94-99.
- Van der Linden et al. 2009** : Van der Linden (V.), Cosyns (P.), Schalm (O.), Cagno (S.), Nys (K.), Janssens (K.) : « Deeply coloured and black glass in the northern provinces of the Roman Empire: differences and similarities in chemical composition before and after 150 AD », *Archaeometry*, 51, 2009, 822-844.
- Van Renswoude, Van Kerckhove 2009** : Van Renswoude (J.), Van Kerckhove (J.) : *Opgravingen in Geldermalsen-Hondsgemet. Een inheemse nederzetting uit de late IJzertijd en de Romeinse tijd* (Zuidnederlandse Archeologische Rapporten, 35). Amsterdam, 2009.
- Venclová 1972** : Venclová (N.) : « Celtic Glass in Czechoslovakia », in *Annales du 5e Congrès de l'AIHV*. Liège : AIHV, 1972, 41-46.
- Verhelst, Schurmans 2007** : Verhelst (E. M. P.), Schurmans (M.) : *Oudheden uit Odijk. Bewoningssporen uit de Late IJzertijd, Romeinse tijd en Merovingische tijd aan de Singel West/Schoudermantel* (Zuidnederlandse Archeologische Rapporten, 30). Amsterdam, 2007.
- Wagner et al. 2008** : Wagner (B.), Nowak (A.), Bulska (E.), Kunicki-Goldfinger (J.), Schalm (O.), Janssens (K.) : « Complementary analysis of historical glass by scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectrometry and laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry », *Microchimica Acta*, 162 (3-4), 2008, 415-424.
- Wagner, Bulska 2004** : Wagner (B.), Bulska (E.) : « On the use of laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry for the investigation of the written heritage », *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 19, 2004, 1325-1329.