

## 1. Introduction

Bien que Bernard Perrot soit probablement l'un des verriers sur lequel on a le plus écrit, aucune étude archéométrique d'envergure n'avait été menée à ce jour sur ses productions. Seules quelques analyses ont été réalisées par le laboratoire de la Compagnie Saint-Gobain, dans les années 1960. L'exposition du musée des Beaux Arts d'Orléans sur les œuvres de Bernard Perrot, qui eut lieu de mars à juin 2010, a été l'occasion de mener une recherche de grande ampleur à partir d'une quarantaine d'objets qui lui sont attribués et qui sont conservés dans différents musées à Paris, Nantes, Ecoen, Sèvres et Orléans (tableau 1). Cette étude, réalisée conjointement au C2RMF et à l'IRAMAT, permet d'apporter un éclairage nouveau sur les productions de Bernard Perrot, à travers des analyses physico-chimiques du verre et l'étude des techniques de fabrication.

## 2. Corpus étudié

Le corpus étudié rassemble quarante-trois œuvres qui reflètent la diversité des productions de Bernard Perrot, tant par leurs typologies, leurs techniques de fabrication que par leurs couleurs (tableau 1). Les objets choisis sont très variés : on a des flacons de poche ou en forme de tête humaine, une tasse, des gobelets, des salerons, un sucrier, un confiturier, un piédouche, une pièce de surtout, des gobichons, des aiguères, des médaillons à buste de Louis XIV ou encore des présentoirs en forme de dauphin ou d'Eros. Ces objets sont soit moulés (les flacons de poche), soufflés (le confiturier, le page) ou bien coulés (les portraits). Les verres analysés sont translucides (bleus, de teinte ambrée, turquoise, rouges, d'aspect noir, ou incolores), ou opaques (blancs, rouges, bleus, jaunes ou verts). Ces verres de teintes différentes constituent le corps de l'objet, et/ou les éléments de décor.

## 3. Méthodes d'analyse du verre

Selon la taille des objets, deux méthodes d'analyse ont été utilisées lors de cette étude. Ceux de petite taille (longueur < 11cm et diamètre < 4 cm) ont été analysés par spectrométrie de masse à plasma avec prélèvement par ablation laser (LA-ICP-MS) à l'IRAMAT d'Orléans. Ceux de taille plus importante l'ont été par faisceau d'ions avec l'accélérateur AGLAE du C2RMF.



Fig. 1.- Portrait du Duc d'Orléans, OA 11378, cat. 114

La spectrométrie de masse à plasma avec prélèvement par ablation laser est une technique particulièrement bien adaptée aux objets composites de petite taille. Les objets sont introduits dans une chambre. Cette méthode ne nécessite aucune préparation de l'échantillon. Un micro-prélèvement, invisible à l'œil nu, est effectué par un rayon laser (NdYAG à fréquence quadruplée  $\lambda = 266\text{nm}$ ). La matière prélevée (quelques microgrammes) est transportée vers la torche à plasma par un flux gazeux. La haute température du plasma ( $8000^\circ\text{C}$ ) dissocie et ionise la matière, dont les différents constituants sont identifiés selon leur masse. Un détecteur électronique permet leur quantification (Gratuze et al. 1997 ; Gratuze et al. 2001). Les analyses ont été effectuées avec les spectromètres PQXS et Element XR de Thermo Fisher Scientific. L'analyse par un faisceau de protons de 2.95 MeV extrait à l'air permet l'étude des objets de toutes tailles ; ces derniers sont posés à l'air libre sur un support devant l'extrémité du faisceau. La surface du verre est ainsi analysée de façon non destructive sans aucun

1.- Laboratoire du Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF, UMR 171), 14 quai François Mitterrand, palais du Louvre, porte des lions, 75001 Paris. [isabelle.biron@culture.gouv.fr](mailto:isabelle.biron@culture.gouv.fr).

2.- IRAMAT Centre Ernest Babelon, UMR 5060, CNRS/Université d'Orléans, 3D rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2, [gratuze@cnrs-orleans.fr](mailto:gratuze@cnrs-orleans.fr)

3.- Vacataire au C2RMF

Type d'objet	Nb.	Teinte	N° d'inventaire	Méthode d'analyse
Flacon de poche cat. 18, 23, 25 et 27 (4)	5	Ambrée	Orléans A.6501, 2007.1.1, 2007.1.2 et 2007.1.4, Art déco 997.76.87	LA-ICP-MS
Flacon de poche cat. 32	1	Ambrée, métallisée aspect doré	Orléans 2007.1.5	LA-ICP-MS
Flacon de poche cat. 17	1	Incolore	Orléans A.6502	LA-ICP-MS
Flacon de poche cat. 19 et 29	3	Bleue	Orléans A.6500 Art déco 11675 Collection privée	LA-ICP-MS PIXE PIGE PIXE PIGE
Flacon de poche cat. 158	1	Blanche opaque, émaillée de verre jaune, rouge, bleu et vert	Art déco 36013	LA-ICP-MS
Tasse jouet enfant cat. 40	1	Blanche opaque	Coll. privée	PIXE PIGE
Flacon en forme de tête humaine cat. 12,14 et 188	3	Noire à décor jaune opaque Noire à décor blanc Noire	Art déco 27857A Orléans 2007.1.3 SRA 022.1128	PIXE PIGE PIXE PIGE LA-ICP-MS
Flacon en forme de tête humaine	1	Blanche à décor rouge opaque	Art déco 27857B	PIXE PIGE
Saleron	2	Incolore, métallisée, aspect argenté	Sèvres 5.394.1 Sèvres 5.394.2	LA-ICP-MS PIXE PIGE
Saleron cat. 35 et 37	3	Ambrée, métallisée aspect doré	Sèvres 4.049 base Sèvres 4.049 coupelle Sèvres 5.392 Art déco 27856C	LA-ICP-MS PIXE PIGE PIXE PIGE PIXE PIGE
Gobelet cat. 1 et 3	2	Incolore	Art déco 995.41.1 Orléans 2006.2.2	PIXE PIGE
Gobelet cat. 187	1	Blanche opaque à décor bleu	SRA 04.STR 22.P.3 n° 216	LA-ICP-MS
Chandelier au filet rouge intérieur cat. 90	1	Incolore et rouge	Orléans 91.2.1	PIXE PIGE
Fleur à cœur rouge cat. 92	1	Incolore et rouge	Rouen SN	LA-ICP-MS
Statuette d'Eros cat. 62	1	Incolore, bleue et rouge	Coll. particulière	LA-ICP-MS
Sucrier et fragment de sucrier cat. 186	2	Blanche opaque et rouge transparent	SRA Orléans 04.expo 83 O4.STR 022.P.3 n° 152 et 153	LA-ICP-MS/ PIXE PIGE
Lion blanc cat. 57	1	Blanche opaque et transparente incolore	Nantes 882.1.286	PIXE PIGE
Berger portant une cage à oiseau	1	Blanche opaque, incolore et rouge transparentes	Louvre OA.12172	PIXE PIGE
Dauphin cat. 54	1	Blanche et bleu turquoise opaque et incolore transparente	Louvre OA.12171	PIXE PIGE
Dauphin cat. 61	1	Transparente incolore et rouge	Nantes 882.1.284	PIXE PIGE
Dauphin cat. 56	1	Blanche, jaune orange opaques et incolore, rouge, turquoise	Art déco OAP788.35	PIXE PIGE
Aiguière cat. 97 et 99	2	Blanche opaque et rouge transparente	Ecouen E Cl. 8626 Orléans 2007.1.7	PIXE PIGE Fluorescence X
Comptoir cat. 87	1	Transparente incolore et rouge	Orléans 92.3.1	PIXE PIGE
Présentoir à fruits dit gobichon cat. 70	1	Transparente incolore	Orléans 2007.1.6	PIXE PIGE
Portrait de Louis XIV cat. 111	1	Transparente incolore	Orléans A.7162 Saint Gobain et coll. privée	PIXE PIGE Fluorescence X
Portrait du duc d'Orléans cat. 114	1	Transparente incolore	Louvre OA. 11378	PIXE PIGE
Gobelet filigrané cat. 189	1	Transparente incolore, décor filigrané blanc et bleu	SRA Orléans 022. 1125	PIXE PIGE

Tableau 1 : corpus analysé dans le cadre de cette étude (\*provenance des œuvres : Orléans / Musée historique de l'Orléanais ; SRA / DRAC Orléans ; Art déco / Musée des Arts décoratifs, Paris ; Louvre / Musée du Louvre ; Sèvres / Musée national de la céramique ; Rouen / musée départemental des Antiquités). Pour plus d'information sur ces objets, se reporter aux notices du catalogue de l'exposition.

4.- Catalogue de l'exposition : « Bernard Perrot 1640 1709, Secrets et chefs d'œuvre des verreries royales d'Orléans », Musée des Beaux Arts d'Orléans et Somogy, 2010.

prélèvement de matière. Les analyses se font en mode PIXE et PIGE (respectivement émissions de rayons X et gamma induites par particules). La taille du faisceau sur la cible est de 50µm environ. Deux détecteurs de rayons X sont employés pour obtenir dans les meilleures conditions l'ensemble des éléments présents dans le matériau (l'un pour les rayons X de basses énergies de 0.3 à 10keV sous flux d'hélium et l'autre pour ceux de hautes énergies de 5 à 40 keV avec un filtre d'aluminium) (Calligaro et al. 1996) et un de rayons gamma pour accéder à la teneur en sodium d'origine du verre sain ainsi qu'aux éléments légers comme le bore et le fluor. Les résultats sont dépouillés avec le logiciel Gupix et calibrés avec des échantillons de verre de référence.

### 3. 1. Comparaison des méthodes

Quatre échantillons de verre ont été analysés par les deux méthodes à titre comparatif : un fragment de flacon noir en forme de tête humaine et trois verres blancs opaques. Parmi ceux-ci, le premier est un verre calcique opacifié au phosphate de chaux et les deux autres en verre plombo-potassique opacifié à l'antimoine. Les résultats obtenus par les deux méthodes présentent un bon accord pour les éléments dont les teneurs sont supérieures à 1% pour deux des trois échantillons. Seul l'un des verres plombo-potassique opacifié à l'antimoine présente des écarts importants pour les teneurs en magnésium et aluminium (tableau 3), les teneurs des autres éléments sont comparables. Il faut noter ici que cet échantillon provient des fouilles d'Orléans et que, par conséquent, sa surface peut présenter des traces de corrosion qui peuvent induire des hétérogénéités locales. Si l'on exclut cet échantillon pour ces deux éléments, l'écart absolu moyen observé entre les deux méthodes pour les éléments dont les teneurs sont supérieures à 0,5 % est de 8%. Pour les éléments mineurs et traces, l'écart absolu moyen est plus élevé. Cet écart est cependant extrêmement variable en fonction des éléments et des teneurs. On note toutefois un bon accord relatif pour les teneurs supérieures à 500 ppm.

### 4. Résultats des analyses chimiques élémentaires du verre (tableau 2)

Les résultats obtenus sur cet ensemble d'objets mettent en évidence l'emploi d'un grand nombre de recettes différentes pour la fabrication du verre. Nous présenterons successivement les verres translucides avec et sans plomb et les opaques. Une présentation des métallisations rencontrées sur certaines pièces sera aussi proposée.

#### 4. 1. Les verres translucides sans plomb

Cet ensemble regroupe vingt-deux des quarante-trois objets étudiés : dix flacons de poche (un incolore, trois bleus et six de teinte ambrée), cinq salerons (deux incolores et trois de teinte ambrée), deux gobelets incolores, un chandelier et un élément de décor en forme de fleur, tous deux incolores et trois flacons d'aspect noir en forme de tête humaine.

La totalité de ces verres appartient à la famille des silicates potasso-calciques fabriqués à partir d'un sable et de cendres forestières. Perrot semble s'être adapté à la tradition locale du Centre de la France, qui produit des verres aux cendres forestières (c'est-à-dire dont les sources alcalines sont potassiques) et n'a pas poursuivi les recettes des verres italiens (Venise et

Altare, région dont il est originaire) qui sont majoritairement sodiques. On observe toutefois une très grande variabilité de composition au sein de cet ensemble. Les teneurs moyennes en potasse et en chaux, égales respectivement à 21 % et 11 % présentent une grande dispersion (de 13 à 28 % pour la potasse et de 5 à 19% pour la chaux). Cette amplitude de valeur se retrouve pour la plupart des autres constituants majeurs et mineurs (alumine, soude, magnésie...). On notera cependant qu'une grande majorité des objets analysés présente des teneurs très faibles en magnésie (0,2 %) et de l'ordre de 1,2 % en soude.

Cette variabilité ne peut être imputée à l'état de conservation des objets, qui est excellent, mais bien à l'emploi d'ingrédients ou de recettes différents. C'est ainsi que quelques cas particuliers se dégagent, attestant de recettes verrières différentes : seuls trois objets ont une teneur plus élevée en magnésie (le chandelier, l'élément de décor en forme de fleur et l'un des flacons en forme de tête noire) et quatre objets des teneurs très faibles en soude (deux des trois flacons en forme de tête noire dont celui à forte teneur en magnésie, ainsi que les deux gobelets). On remarquera enfin que, si l'ensemble des verres de teinte ambrée présente des compositions assez proches, l'un d'entre eux, le flacon n° 2007.1.4, se différencie par des teneurs plus faibles en alumine et chaux et des teneurs plus élevées en certains éléments traces.

Les colorants utilisés pour ces productions sont les colorants classiques de l'époque : le cobalt pour le bleu et le fer en milieu réducteur - probablement combiné au soufre - pour les teintes ambrée et noire : l'aspect noir résulte en fait de la saturation de la teinte ambrée qui donne également l'impression que le verre est opaque alors qu'il ne contient aucun agent opacifiant. Le manganèse est utilisé à la fois comme colorant pour les verres violets et comme décolorant pour les verres incolores. Le colorant à base de cobalt (probablement du smalt) est caractérisé par la présence de nickel, d'arsenic, de bismuth mais aussi de traces d'uranium, ce qui est normal pour des verres de cette époque (Gratuze et al. 1995). On notera toutefois l'absence de bismuth pour l'un des flacons moulé bleu, et l'absence d'uranium pour le prélèvement du piédouche bleu. On remarquera aussi que le chandelier incolore contient très peu de manganèse par rapport aux autres verres incolores (0,11 % au lieu de 0,75 %) c'est aussi l'objet qui possède les plus faibles teneurs en fer (0,05 %), alumine (0,2 %) et titane (0,02%). Des teneurs aussi faibles pourraient indiquer l'emploi d'une source de silice plus pure (quartz au lieu de sable), qui rend de fait inutile la décoloration du verre.

#### 4.2. Les verres translucides avec plomb

Les verres translucides incolores supports et de décor de onze objets sur les quarante-trois étudiés sont des silicates potasso-calciques contenant du plomb : ce sont le compotier, le gobichon, le portrait de Louis XIV, celui du duc d'Orléans, les trois dauphins blanc, rouge, blanc décoré, le lion blanc, le berger tenant une cage à oiseau, le gobelet à filigrane et la statuette d'Eros. Les deux autres portraits de Louis XIV présentés lors de l'exposition ont été récemment analysés par fluorescence X en mode quantitatif. La comparaison des spectres obtenus sur ces derniers avec ceux obtenus sur les deux portraits analysés par PIXE montre que le même type de verre a été employé pour

Type de verre et couleur	Typologie	Référence (n° cat)	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	Cl	K2O	CaO	MnO	Fe2O3	CoO	CuO	As2O3	SnO2	Sb2O3	Au	PbO	
Verres transparents calco-alcalins	Ambre																			
			L	1,05	0,15	1,76	57,8	0,07	0,19	24,36	14,17	0,06	0,13	0,0011	0,0067	0,0017	0,0012	0,0016	0,0000	0,0028
			L	1,32	0,08	1,28	64,0	0,17	0,25	21,27	11,10	0,04	0,22	0,0002	0,0050	0,0018	0,0014	0,0002	0,0000	0,0021
			L	1,70	0,12	1,57	56,1	0,15	0,27	24,89	14,64	1,18	0,13	0,0007	0,0086	0,0015	0,0009	0,0151	0,0000	0,0132
			L	1,50	0,12	0,52	68,6	0,10	0,35	22,94	5,41	0,08	0,12	0,0001	0,0033	0,0007	0,0019	0,0003	0,0000	0,0062
			L	1,14	0,08	1,15	61,9	0,16	0,28	21,47	13,50	0,02	0,14	0,0001	0,0067	0,0007	0,0020	0,0003	0,0000	0,0023
			L	0,91	0,09	1,39	60,5	0,10	0,21	23,31	12,96	0,12	0,13	0,0001	0,0015	0,0004	0,0017	0,0002	0,0000	0,0014
Noir	Tête noire		L	1,37	0,07	0,87	60,7	0,14	25,26	10,80	0,04	0,13	0,0002	0,0035	0,0007	0,0022	0,0001	0,0000	0,0016	
			L	1,34	0,08	1,50	65,6	0,11	0,32	18,54	12,07	0,04	0,11	0,0005	0,0032	0,0006	0,0039	0,0000	0,0000	0,0028
			P	1,18	0,16	1,08	63,0	0,21	0,23	20,52	13,18	0,04	0,10	0,0008	0,0064	0,0020	0,0000	0,0000	0,0000	0,0134
			P	1,05	0,25	2,22	59,1	0,03	0,18	20,90	15,54	0,05	0,18	0,0017	0,0064	0,0099	0,0019	0,0165	0,0000	0,0135
			L	0,17	0,61	1,50	58,6	0,09	0,02	19,28	19,30	0,17	0,14	0,0001	0,0012	0,0003	0,0014	0,0002	0,0000	0,0000
			P	1,68	0,07	1,56	61,5	0,11	0,17	21,56	12,56	0,15	0,15	0,0024	0,0043	0,0029	0,0020	0,0000	0,0000	0,0187
			P	0,17	0,08	1,52	56,8	0,00	0,46	28,54	10,66	0,05	0,16	0,0004	0,0048	0,0029	0,0000	0,0090	0,0013	0,5525
Incolore	Flacon		L	1,01	0,11	0,79	66,7	0,25	20,36	9,50	0,68	0,14	0,0008	0,0118	0,0060	0,0010	0,0008	0,0000	0,0050	
			L	1,12	0,09	1,22	60,0	0,11	0,25	27,22	9,21	0,49	0,11	0,0004	0,0038	0,0025	0,0005	0,0003	0,0000	0,0028
			P	0,97	0,11	1,66	65,0	0,06	0,31	18,19	11,98	0,90	0,11	0,0006	0,041	0,0030	0,0013	0,0019	0,0018	0,0034
			L	2,42	0,46	1,18	69,4	0,23	0,35	17,35	5,80	0,65	0,26	0,0009	0,0034	0,1269	0,0133	0,0037	0,0000	1,5906
			P	0,88	0,72	0,24	76,2	0,00	0,06	13,28	8,01	0,11	0,05	0,0008	0,0027	0,0676	0,0000	0,0000	0,0004	0,0016
			P	0,28	0,09	1,64	69,6	0,01	0,14	15,72	10,87	0,67	0,12	0,0009	0,0043	0,0118	0,0022	0,0032	0,0000	0,0042
			P	0,20	0,22	0,57	68,5	0,00	0,14	21,78	6,58	1,10	0,25	0,0012	0,0201	0,0062	0,0048	0,0000	0,0076	0,0030
Bleu	Flacon		L	1,90	0,18	1,83	68,4	0,16	18,21	6,74	1,54	0,20	0,0314	0,0113	0,0586	0,0005	0,0037	0,0005	0,0333	
			L	1,53	0,11	1,40	67,5	0,16	0,30	20,84	7,30	0,21	0,25	0,0333	0,0069	0,1467	0,0028	0,0010	0,0000	0,0144
			P	1,25	0,03	1,98	67,3	0,08	0,21	18,95	8,70	0,39	0,24	0,0507	0,0104	0,0903	0,0050	0,0027		0,0854
			L	2,86	0,24	0,99	69,5	0,92	0,36	8,80	2,26	0,03	3,95	2,98	0,7487	3,18	0,0168	0,2769	0,0001	0,4091
			P	0,63	0,87	0,52	47,3	0,00	0,20	8,67	3,45	0,12	0,16	0,0024	0,0173	0,0000	0,0000	0,0267	0,0000	36,4
			P	2,35	0,37	0,67	65,0	0,00	0,37	9,99	2,61	0,16	0,19	0,0013	0,3449	0,0000	0,0000	0,0262	0,0000	17,5
			P	1,67	0,21	0,55	66,8	0,00	0,40	9,33	1,09	0,10	0,13	0,0009	0,0147	0,0000	0,0000	0,287	0,0000	19,4
Verres transparents plombo-alcalins	Incolore		P	3,85	1,09	0,49	67,7	0,00	0,53	9,49	3,33	0,06	0,11	0,0008	0,0096	0,0000	0,0000	0,0246	0,0000	13,0
			P	2,12	0,19	0,53	65,4	0,00	0,40	9,85	1,36	0,13	0,17	0,0015	0,0144	0,0000	0,0093	0,0362	0,0000	19,5
			L	0,14	0,36	0,20	81,2	0,29	0,17	6,79	1,37	0,07	0,10	0,0001	0,0045	0,1317	0,0148	0,0073	0,0001	9,1
			P	4,50	0,42	0,39	58,89	0,00	0,23	7,87	1,51	0,12	0,15	0,0036	0,0207	0,0000	0,0553	0,0743	0,0402	24,7
			P	3,41	0,46	0,43	63,67	0,00	0,43	9,79	1,94	0,05	0,20	0,0026	0,0141	0,0000	0,0376	1,87	0,0098	17,0
			P	2,99	0,72	0,68	47,9	0,00	0,49	10,79	2,24	0,19	0,17	0,0011	0,0154	0,0000	0,0000	0,0147	0,0000	33,4
			P	7,24	0,69	0,55	44,8	0,00	0,57	10,38	2,17	0,17	0,16	0,0013	0,0154	0,0000	0,0000	0,0454	0,0000	32,9
Portrait	OA.11378 (114)		P	2,07	0,34	0,27	44,7	0,00	0,98	11,77	1,35	0,05	0,14	0,0015	0,0277	0,0209	0,0000	0,0692	0,0000	37,9
			P	0,48	0,28	0,20	50,3	0,00	0,54	12,50	0,77	0,03	0,10	0,0010	0,0228	0,3053	0,0445	0,0386	0,0000	34,0

Tableau 2.- Analyses chimiques élémentaires des verres colorés obtenues par faisceau d'ions en mode PIXE-PIGE au C2RMF (« P ») et par spectrométrie de masse à plasma avec prélèvement par ablation laser à l'IRAMAT (« L »), exprimées en pour cent poids d'oxyde, valeurs moyennes de 2 à 3 points d'analyse par couleur.

Type de verre et couleur	Typologie	Référence (n° cat)	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	Cl	K2O	CaO	MnO	Fe2O3	CoO	CuO	As2O3	SnO2	Sb2O3	Au	PbO
Verre transparents plombo-alcalins																			
bleu	Présentoir	Statuette d'Eros (62)	L 2,16	0,47	0,61	59,7	0,14	0,32	12,45	1,58	0,12	0,65	0,4034	0,1122	5,22	0,0228	0,0063	0,0001	15,4
irquoise		OA.12171 (54)	P 2,69	0,60	0,96	66,8	0,00	0,15	11,09	5,07	0,31	0,31	0,0029	0,7486	0,0000	0,0247	0,0428	0,0000	10,8
vert	Gobelet	SRA Orléans 022.1125 (189)	P 3,75	0,27	0,44	64,79	0,00	0,32	10,24	1,37	0,10	0,28	0,1087	0,0244	0,1583	0,0652	0,2821	0,0133	17,4
rouge	Aiguillère	2007.1.7 (99)	P 2,17	1,69	0,00	66,3	0,00	0,49	7,21	1,23	0,06	0,13	0,0009	0,0174	2,15	0,0000	0,0340	0,0029	18,1
		ECL 86026 (97)	P 1,80	1,28	0,00	61,9	0,00	0,58	9,26	1,26	0,04	0,12	0,0043	0,0199	1,18	0,0000	0,0359	0,0000	22,1
		ECL 86026 (97)	P 1,87	1,40	0,00	62,5	0,00	0,56	8,69	1,15	0,04	0,10	0,0035	0,0363	1,22	0,0000	0,0423	0,0000	22,1
	Sucrier	SRA04.STR22.P.3n°152, 153 (186)	L 0,46	0,05	0,27	61,9	0,04	0,35	13,8	0,84	0,06	0,04	0,0003	0,0083	1,00	0,0011	0,0157	0,0168	21,0
		SRA04.STR22.P.3n°152, 153 (186)	P 1,64	0,24	0,00	76,8	0,00	0,24	7,90	0,15	0,03	0,03	0,0003	0,0132	0,61	0,0519	0,0421	0,0287	11,9
	Compotier	92.3.1 couvercle (87)	P 3,16	0,87	0,21	54,2	0,00	0,75	10,93	1,72	0,12	0,21	0,0006	0,0138	0,97	0,0000	0,0186	0,0000	26,5
		92.3.1 base (87)	P 0,43	0,83	0,55	49,1	0,00	0,45	11,50	2,46	0,19	0,21	0,0009	0,0160	0,0000	0,0344	0,0330	0,0000	33,7
	Présentoir	Rouen SN (92)	L 2,07	0,16	0,55	58,8	0,10	0,60	11,8	1,84	0,08	0,21	0,0006	0,0062	0,81	0,0021	0,0135	0,0060	22,6
		Statuette d'Eros (62)	L 0,21	0,27	0,21	70,3	0,13	0,58	8,73	1,18	0,07	0,20	0,0002	0,0068	2,92	0,0177	0,0132	0,0284	15,1
		OAP.788.35 (56)	P 1,26	0,24	0,06	66,6	0,00	0,09	6,39	0,26	0,01	0,05	0,0000	0,0116	1,05	0,0456	0,0862	0,1120	22,8
		88.1.1.284 (61)	P 1,47	0,54	0,03	62,8	0,00	0,41	9,68	0,74	0,03	0,17	0,0010	0,0177	1,29	0,0000	0,0507	0,0000	22,5
		88.1.1.284 (61)	P 1,33	0,56	0,03	65,2	0,00	0,43	11,05	0,93	0,03	0,18	0,0015	0,0166	1,08	0,0000	0,0424	0,0000	18,8
		OA.12172 (48)	P 1,65	0,56	0,29	63,6	0,00	0,35	10,87	1,94	0,05	0,19	0,0013	0,0172	1,04	0,0000	0,0667	0,0000	18,9
		OA.12172 (48)	P 2,09	0,56	0,30	62,5	0,00	0,29	10,09	2,27	0,07	0,17	0,0010	0,0177	1,10	0,0000	0,0871	0,0000	20,2
Verre opaque blanc calco alcalin																			
	Flacon	36013 flacon (158)	L 0,74	2,70	2,21	57,8	4,86	0,41	15,82	13,77	0,94	0,38	0,0005	0,0090	0,0017	0,0012	0,0002	0,0000	0,0176
		36013 pied (158)	L 0,75	2,57	1,66	59,1	5,26	0,33	17,14	11,54	0,94	0,38	0,0000	0,0000	0,0000	0,0011	0,0007	0,0000	0,0090
		27857B	P 1,26	0,19	1,49	64,1	6,27	0,14	14,23	11,53	0,24	0,11	0,0009	0,0034	0,0038	0,0035	0,0000	0,0000	0,0379
Verre opaque blanc plombo alcalin																			
	Présentoir	882.1.286 (57)	P 2,14	0,47	0,65	69,1	0,00	0,20	9,52	3,41	0,15	0,34	0,0014	0,0221	0,0000	0,0052	5,81	0,0000	7,6
		OA.12172 (48)	P 1,80	0,22	0,64	75,5	0,00	0,19	8,21	1,74	0,05	0,36	0,0016	0,0087	0,0259	0,0042	8,08	0,0000	2,5
		OA.12171 (54)	P 1,78	0,09	0,34	51,8	0,00	0,28	21,89	5,79	0,21	1,13	0,0052	0,0628	0,0398	0,0044	8,69	0,0000	7,1
		OAP.788.35 (5)	P 3,24	1,64	0,48	78,7	0,06	0,32	6,88	4,00	0,02	0,28	0,0008	0,0096	1,46	0,00	1,86	0,06	3,7
	Gobelet	SRA04.STR22.P.3n°216 (187)	L 6,32	1,74	1,06	56,8	0,27	0,34	5,67	7,16	0,06	0,66	0,0028	0,0077	0,1017	0,0023	4,67	0,0000	14,9
		SRA Orléans 022.1125 (189)	P 3,60	0,38	0,58	63,1	0,00	0,63	9,25	2,06	0,06	0,22	0,0023	0,0158	0,00	0,03	1,72	0,00	17,7
	Sucrier	Orléans 04.expo 83	L 5,27	2,30	0,86	60,9	0,23	0,32	5,84	7,33	0,04	0,46	0,0001	0,0065	0,0199	0,0020	5,37	0,0000	10,9
		SRA04.STR22.P.3n°152, 153 (186)	L 5,26	2,51	0,80	61,6	0,19	0,29	5,80	6,96	0,03	0,46	0,0001	0,0057	0,0198	0,0011	5,21	0,0000	10,4
		SRA04.STR22.P.3n°152, 153 (186)	P 6,91	2,09	0,91	61,3	0,00	0,35	4,96	6,51	0,04	0,36	0,0016	0,0129	0,0166	0,0046	5,47	0,0017	10,4
	Tasse	Coll. Privée (46)	P 3,09	0,01	1,18	70,5	0,00	0,23	9,59	1,51	0,09	0,28	0,0008	0,0162	0,01	0,01	8,40		4,6
	Aiguillère	ECL 86026 (46)	P 3,72	1,36	0,00	61,9	0,00	0,48	8,48	1,40	0,04	0,12	0,0017	0,0187	2,39	0,0073	0,06	0,0000	19,8
Verre opaque coloré plombo alcalin																			
bleu	Flacon	36013 émail bleu (158)	L 1,02	0,23	1,54	45,7	0,00	0,59	8,43	1,68	0,09	0,71	0,6699	0,13	1,38	7,42	0,0797	0,0000	28,4
rouge		27857B émail rouge marron	P 5,13	0,37	1,06	36,8	0,03	1,24	5,39	1,98	0,05	3,73	0,0131	0,074	0,0049	14,6	0,0240	0,0000	28,2
		36013 émail rouge (1058)	L 2,41	0,28	1,33	33,5	0,00	0,51	3,84	1,60	0,10	5,66	0,0016	0,17	0,0200	11,7	0,0887	0,0001	37,9
vert		36013 émail vert (158)	L 0,51	0,20	1,31	27,9	0,06	0,46	3,05	0,85	0,05	0,36	0,0199	2,31	0,0810	7,15	0,2640	0,0000	53,6
jaune		27857A émail blanc (158)	P 2,68	0,72	1,79	41,0	0,17	2,57	10,33	4,84	0,09	0,34	0,0090	0,10	0,0148	11,0	0,0000	0,0430	22,3
		36013 émail jaune (158)	L 2,10	0,47	2,33	35,0	0,02	0,66	3,02	1,36	0,08	0,67	0,0011	0,29	0,0211	9,53	1,69	0,0001	42,0
		2007.1.3 émail jaune (12)	P 0,20	0,42	2,90	19,3	0,00	1,57	3,45	0,57	0,04	0,86	0,0094	0,14	0,0145	1,15	6,75	0,0000	61,6
	Présentoir	OAP.788.35 décor jaune orange (56)	P 2,32	0,24	1,72	29,8	0,00	0,36	1,90	0,40	0,11	1,01	0,0023	0,0495	0,0000	2,57	3,85	0,0509	54,3

Tableau 2.- Suite

Référence		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	Cl	K2O	CaO	MnO	Fe2O3	Sb2O3	PbO
SRA 04.STR 22.P3 n°152 et 153 (186)	P	6,9	2,1	0,91	61,3		0,35	5,0	6,5	0,04	0,36	5,5	10,4
	L	5,3	2,5	0,80	61,6		0,29	5,8	7,0	0,03	0,46	5,2	10,4
022.1128 (188)	P	0,19	0,50	1,6	56,7		0,15	17,9	22,2	0,25	0,26		
	L	0,17	0,61	1,5	58,6		0,02	19,3	19,3	0,17	0,14		
Orléans 04.expo 83	P	5,8	1,2	2,5	62,4		0,38	5,2	7,6	0,04	0,43	4,2	10,0
	L	5,3	2,3	0,9	60,9		0,32	5,8	7,3	0,04	0,46	5,4	10,9
Verre opaque attribué à des productions de Nevers	P	0,31	2,9	2,9	64,3	1,6	0,14	2,9	22,7	0,60	0,93		
	L	0,30	3,1	2,6	61,5	2,1	0,11	3,0	25,1	0,59	0,95		

Tableau 3 : Teneurs en éléments majeurs et mineurs mesurées par PIXE-PIGE au C2RMF (« P ») et par spectrométrie LA-ICP-MS (« L ») à l'IRAMAT pour quatre verres étudiés par les deux techniques (Teneurs en % poids d'oxydes).

leur fabrication.

Les quatre premiers objets énumérés ci-dessus contiennent les plus fortes teneurs en plomb (30-35%) qui correspondent aux compositions de verre dits « de cristal ». La manufacture anglaise produisant ce type de verres est attestée dans les textes à partir de 1674 (Dungworth et Brain 2004 ; Brain et Dungworth 2006). Bien que s'agissant de productions différentes (artisanales et non industrielles), des verres également riches en plomb étaient déjà utilisés et produits à Venise au moins à partir du XVe siècle, essentiellement pour l'imitation de pierres précieuses (Moretti 2004 ; Moretti et Hreglich 2006 ; Moretti et Zecchin 2006). Ces recettes devaient donc être connues de Perrot. Nous ne disposons malheureusement d'aucune date précise sur la fabrication des objets étudiés, mais les quatre portraits présentés lors de l'exposition pourraient bien avoir été fabriqués autour de 1685-95, soit entre les articles parus dans le *Mercur Galant* en 1686 et 1687 et la saisie de son matériel en 1695 (de Valence 2010). Les quatre portraits contiennent très peu de manganèse (0,03-0,06%) alors que les deux autres objets en contiennent davantage (0,10-0,19%). Les faibles teneurs en manganèse sont aussi associées aux sources de silice les plus pures (peu d'aluminium, de titane et de fer) comme cela a été observé pour les verres translucides sans plomb.

Les verres incolores translucides et colorés des sept derniers objets listés plus haut contiennent de plus faibles teneurs en plomb, variant de 10 à 25% (et 5,5% pour la statuette d'Eros). De même que pour les verres de cristal précédents, deux groupes se distinguent, l'un avec de fortes teneurs en manganèse (le berger et les trois dauphins, 0,10-0,19%) et l'autre avec de plus faibles teneurs (0,03-0,06%) pour le reste des objets.

Les colorants employés pour les verres translucides de ce groupe riche en plomb sont le cuivre pour le verre turquoise (dauphin) et le cobalt pour les bleus (statuette Eros, gobelet à filigrane).

Les verres rouges translucides sont des silicates potasso-calciques contenant tous du plomb ; soit en fortes teneurs (de 25 à 38%) pour les objets dont le support translucide incolore est déjà en cristal comme le compotier, soit en plus faibles teneurs (12 à 23%) pour la fleur à cœur rouge, la statuette d'Eros, le sucrier, les deux aiguères, le page, le dauphin rouge et celui décoré. Ces verres sont colorés avec de faibles teneurs en or (de 23 à 284 ppm). L'or n'a pas été détecté de façon systématique dans les analyses PIXE-PIGE : il n'est pas impossible que le verre rouge soit parfois recouvert d'un film de verre incolore, ce qui pourrait alors perturber les résultats obtenus par cette méthode ou que les fortes teneurs en plomb de ces verres masquent les raies X de l'or lorsque celui-ci est en très faibles teneurs. L'arsenic y est toujours présent (de 0,61 à 2,92%), excepté pour la base du compotier : son verre rouge est en effet différent

de celui du couvercle. Les teneurs en aluminium, calcium, nickel, cuivre, arsenic et plomb ainsi que des éléments traces varient aussi entre le couvercle et la base.

Cette recette de verre rouge à l'or apparaît relativement différente de celle développée par Kunckel, à la même époque. Cette dernière contient de l'étain et non pas de l'arsenic et elle se généralisera sous le nom de pourpre de Cassius. Des recettes identiques de rouge à l'or avec arsenic se retrouvent toutefois dans les statuettes en verre filé dits de Nevers, qui sont datées jusqu'à présent du XVIIIe siècle (Biron et Gratuze non publié).

Pour l'ensemble de ces verres riches en plomb, les fourchettes de compositions sont très variables principalement en sodium, magnésium, aluminium, chlore, potassium et calcium – à l'image des verres sans plomb attribués à Perrot.

#### 4.3. Les verres opaques

Perrot utilise les verres opaques à la fois pour le corps des objets et pour les éléments de décor. Un verre est généralement opacifié par la présence de petits cristaux répartis dans une matrice vitreuse translucide (Biron et Chopinet 2010). Toutes les différentes sortes d'opacifiants employées par les verriers depuis l'origine du verre (milieu du 3ème millénaire avant J.C.) jusqu'au XVIIe siècle se retrouvent dans les œuvres attribuées à Perrot. Ce dernier emploie principalement les antimoniates de calcium, mais aussi, dans une moindre mesure, les phosphates de calcium et les arsénates de plomb pour les verres supports blancs, et enfin les oxydes d'étain pour les émaux comme le montrent les analyses élémentaires.

#### Les verres opacifiés aux antimoniates de calcium – avec plomb

Les verres blancs employés pour réaliser le corps des objets sont, à l'exception des deux aiguères, colorés et opacifiés aux antimoniates de calcium : il s'agit du fond du gobelet, de la tasse, d'une bonbonnière, d'un sucrier, des présentoirs en forme de lion, du berger et de deux des dauphins. Ils contiennent de 1,7 à 9% d'oxyde d'antimoine et de 2 à 18% d'oxyde de plomb. Les teneurs en soude, potasse et chaux sont elles aussi très variables. Le sucrier et le fond de gobelet présentent des teneurs sensiblement identiques, de l'ordre de 5 à 7% pour ces trois oxydes et de l'ordre de 2% en magnésie. Le lion, le dauphin et le berger ont des teneurs plus élevées en potasse (8 à 22%) et beaucoup plus faibles en soude (2%), chaux (de 2 à 5%) et magnésie (<0,5%).

#### Les verres opacifiés au phosphate de calcium – sans plomb

Les verres supports blancs de deux objets à décor émaillés sont colorés et opacifiés à l'aide de phosphate de chaux, qui provient probablement de cendres d'os, ce sont : un flacon de poche blanc décoré d'une fleur de lys et un flacon blanc à forme de tête humaine. La teneur moyenne en pentoxyde de phosphore est de

6 % et celle en chaux est de l'ordre de 12 %. Ces verres sont des silicates potasso-calciques dont la composition est assez similaire à celle utilisée pour les autres objets en verres translucides du même type (présentés ci-dessus). On remarquera toutefois que le flacon de poche a une teneur beaucoup plus importante en magnésie (2,6 %) et beaucoup plus faible en soude (0,75 %) que l'ensemble des verres potasso-calciques.

### Les verres opacifiés aux arsénates de plomb

Le verre support blanc des deux aiguères est opacifié aux arsénates de plomb (2,4% d'arsenic et 19,8 % de plomb en oxyde). Les teneurs en soude, potasse et chaux du verre de l'aiguère d'Ecouen se rapprochent de celles du verre blanc du berger. L'emploi de cet opacifiant apparaît pour la première fois dans des recettes vénitiennes de la fin du XVIIe siècle (Zecchin 1986). Il est donc fort possible que Perrot en ait eu connaissance et l'ait expérimentée.

### Les verres opacifiés aux oxydes d'étain – avec plomb

Excepté les verres jaune-orange opaques, tous les éléments de décors analysés sont opacifiés à l'oxyde d'étain : les émaux blancs et rouges présents sur le flacon blanc et deux des trois flacons d'aspect noir en forme de tête humaine et les émaux bleus, verts et rouges qui décorent le flacon de poche en verre opaque blanc avec fleurs de lys. Ces décors émaillés ornent tous des objets en verre potasso-calcique blancs, opacifiés à la cendre d'os ou translucides de teinte noire. Ces verres contiennent de 2 à 15 % d'oxyde d'étain et de 20 à 60 % d'oxyde de plomb. Le dépôt de la poudre d'émail sur le verre support exige l'usage de compositions très fusibles, telles que ces verres qui renferment, là encore, des quantités très variables de soude, chaux, magnésie et potasse. La potasse constitue cependant le fondant principal de ces émaux, après le plomb. Leur coloration est due à l'oxyde de cobalt pour le bleu, à l'oxyde de cuivre pour le vert, aux oxydes de fer pour les deux émaux rouges et au dioxyde d'étain pour le blanc.

### Les verres opacifiés aux oxydes d'étain et d'antimoine – avec plomb

Les verres jaune-orange opaques décorant l'un des dauphins (cat.56), le flacon à tête humaine et le flacon à fleur de lys sont colorés et opacifiés avec des oxydes d'antimoine (1,7 à 6,7%), d'étain (1 à 9%) et de plomb (40 à 60%).

### 5. Défauts présents dans les portraits de Louis XIV et du duc d'Orléans

La présence de défauts assez nombreux dans ces deux médaillons montre que la qualité du verre utilisé par Perrot est relativement médiocre, si on la compare à celle obtenue beaucoup plus tard pour un verre de même type, au 19<sup>e</sup> siècle, même s'il faut tenir compte de la forte épaisseur du verre (de l'ordre de 2 cm).

Les deux médaillons ont pu être observés à la loupe binoculaire ; les caractérisations habituellement effectuées sur ce type de verre (observation au microscope polarisant après préparation en lame mince, analyse par MEB-EDS ou microsonde électronique après préparation en section polie) n'ont évidemment pas pu être réalisées, ce qui entraîne une incertitude dans l'identification des défauts.

Trois types de défauts ont été mis en évidence :

- des inclusions solides, dont la nature n'est pas évidente en l'absence de préparation, mais qui peuvent correspondre à des infondus de silice, des résidus de réfractaires alumineux, de fragments métalliques apportés par la composition,



Fig. 2.- Flacon ambre, A6501, cat. 18.

- des défauts de type bulles, avec en particulier des bouillons de sel, le sel étant rassemblé dans les extrémités des bulles allongées. Dans les verres modernes, les bouillons de sel correspondent souvent à du sulfate de sodium en excès dans le verre. Une telle origine, compte tenu de la composition du verre, est très improbable,

- des hétérogénéités vitreuses, sous forme de fils ou de gommages. On observe en particulier des gommages pourpres dans le verre du médaillon d'Orléans (beaucoup plus facile à étudier du fait de l'absence de décor sur la face arrière). Deux de ces défauts, situés près de la surface, ont pu être analysés par PIXE : les analyses mettent en évidence un enrichissement en manganèse uniquement, avec des teneurs qui peuvent atteindre 1% en poids de MnO. La présence de telles gommages, enrichies en manganèse, pourrait être la preuve que le manganèse a été ajouté à du verre déjà formé, et non avec les matières premières lors de la fusion, pour en atténuer la coloration. Cette pratique est signalée par Bontemps (Bontemps, 1868) : elle permet d'ajuster exactement la quantité de manganèse nécessaire à la neutralisation de la couleur. La teneur en manganèse demeure très faible, comme l'est la teneur en fer ; on peut d'ailleurs noter que le médaillon qui présente la plus forte teneur en fer (Musée du Louvre : 0,11 %, Musée d'Orléans : 0,07 %) est également celui qui présente la plus forte teneur en manganèse (0,04 % à comparer à 0,02 % pour le médaillon du musée d'Orléans).

### 6. Les métallisations internes et les métaux présents

Parmi les objets étudiés, sept sont métallisés. Il s'agit d'un flacon, de cinq salerons et du portrait du duc d'Orléans.

La métallisation faite à l'intérieur des flacons ou des salerons confère à l'objet un aspect doré, si le verre est de couleur ambre translucide, ou bien argenté, si le verre est incolore translucide. Nous avons pu caractériser

tériser la composition de ces alliages grâce au protocole d'analyse développé par ablation laser. Celui-ci permet d'analyser le revêtement intérieur des flacons à partir de la surface de l'objet en creusant un micro-puits. Quelle que soit la couleur du verre, la composition moyenne de la métallisation est identique et contient environ 52 % Bi / 36 % Pb / 12 % Sn. Un tel alliage pourrait sembler relativement moderne, si l'on faisait abstraction des impuretés qui le caractérisent (or, antimoine...) : l'alliage moderne CerroShield, dont le point de fusion est de 95°C, a en effet pour composition 52,5 % Bi / 32 % Pb / 15,5 % Sn. De plus, la présence de bismuth peut rajouter à l'anachronisme, étant donné que cet élément ne sera identifié qu'en 1753. Il était pourtant connu depuis le XV<sup>e</sup> siècle, mais était considéré à l'époque de Perrot comme une variété de plomb ou d'étain. On peut enfin s'étonner de l'absence de mercure : l'emploi de cet ingrédient est en effet mentionné par d'Alembert (Diderot et d'Alembert 1781) qui reprend une note de Kunckel sur les recettes de Neri : « pour étamer des boules ou des bouteilles de verre, il faut, 1° fondre dans un creuset un quart-d'once d'étain, et autant de plomb : 2° y joindre ensuite une demi-once de bismuth ; 3° retirer le creuset du feu : et lorsque la matière sera presque froide, vous y verserez peu à peu une once de vif-argent ». Il est donc difficile à ce stade de savoir si les métallisations étudiées sont contemporaines de Perrot, ou proviennent de restaurations ultérieures.

Le portrait du duc d'Orléans, réalisé en verre incolore translucide, présente aussi une métallisation au revers : le contour du portrait correspondant à la zone plane non moulée a un aspect gris argenté, tandis que le portrait en creux moulé a un aspect doré. Contrairement aux flacons et aux salerons, on n'observe pas l'emploi d'alliage à bas point de fusion contenant du bismuth. L'analyse par faisceau d'ions révèle pour la métallisation d'aspect gris argenté un alliage étain-plomb, tandis que pour celle d'aspect doré un alliage cuivre, étain et plomb qui pourrait s'apparenter à un bronze.

Les bouchons et cols métalliques des flacons sont faits majoritairement d'alliages étain-plomb de compositions très variables : la plupart d'entre eux contiennent entre 40 et 80% d'étain. On notera toutefois que deux sont en plomb presque pur (respectivement 90 et 100% de plomb). Enfin, pour la collerette et le pied du flacon métallisé il s'agit d'une tôle en alliage or/argent/cuivre de composition moyenne : 54 % Au / 16 % Ag / 30 % Cu. Les fortes teneurs en cuivre et en argent de cette tôle lui confèrent sa rigidité.

## 7. Conclusion

De prime abord, les analyses effectuées sur ces verres attribués à Perrot laissent perplexe. On se retrouve en effet devant une multitude de compositions chimiques qui donne l'impression d'être en présence de différentes productions, ou bien d'une seule production en constante évolution.

Dans le premier cas, tous les objets analysés pourraient alors ne pas être exclusivement de Perrot, mais provenir d'autres verriers contemporains. Dans le deuxième cas, il apparaît donc impossible de définir des caractères propres aux verres de Perrot pouvant permettre de les différencier de ceux de ses contemporains. Il se révèle de même impossible de dessiner une possible évolution chronologique des compositions, étant donnée l'absence de datation précise des pièces étudiées.

Perrot est un verrier réputé pour son extraordinaire inventivité notre étude le prouve. De plus il fait preuve d'une grande capacité d'adaptation : en effet, Perrot adopte les verres potassiques, typiques du Centre de la France, utilise les verres de cristal soit avant soit pratiquement en même temps que leur création officielle attestée en 1674 en Angleterre,

et un siècle avant l'introduction industrielle de ce verre en France (Anonyme 2009). Enfin il crée ou adopte une nouvelle recette de verre rouge translucide à l'or contenant de l'arsenic, qui se trouve mentionnée dans des écrits vénitiens au XVII<sup>e</sup> siècle. Cette recette semble inconnue jusqu'alors dans les objets à travers l'analyse chimique, si ce n'est au sein de deux pièces de Murano datées du tout début du XVIII<sup>e</sup> siècle et analysées récemment (Moretti, Hreglich, Zecchin et Gratuze non publié) et dans les verres filés de Nevers, eux aussi datés du XVIII<sup>e</sup> siècle.

**Anonyme 2009**, « Saint Louis, quatre siècles d'histoire », *Verre*, 15-1, 2009, p. 37-39

**Biron I., Chopinet M.-H.**, « Chapitre 1. 3. Colouring, decolouring and opacifying of glass » in *Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass*, Centre de Micro and Trace Analysis, université d'Anvers, JohnWiley & Sons Limited Sussex UK, Ed Koen Janssens, Belgique, à paraître en 2011.

**Brain C, Dungworth D.**, « Late 17<sup>th</sup> century english crystal glass », *AIHV annales du 17e congrès*, 2006, 363-369.

Bontemps G., 1868, « Guide du Verrier », Paris, Librairie du Dictionnaire des Arts et Manufactures, p. 90-91

**Calligaro T, McArthur JD and Salomon J** 1996 An improved experimental setup for the simultaneous PIXE analysis of heavy and light elements with a 3 Mev proton external beam, *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res B109/110*, 125-128

**Diderot D., d'Alembert J.**, 1781, *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences des arts et des métiers*, Sociétés Typographiques, Berne et Lausanne, Tome 13, p. 132.

**Dungworth D, Brain C.**, « The « invention » of lead crystal glass », *34<sup>th</sup> International symposium*, 3-7 May 2004, Zaragoza, Spain, 453-457.

**Geysant J.**, 2010 a, « Les verres soufflés-moulés en France, sous le règne de Louis XIV (1661–1715) : leur renouveau avec Bernard Perrot (1640–1709) » in *Scientia Artis* 5, 2010, Institut royal du Patrimoine artistique, Actes des 23<sup>e</sup> Rencontres de l'AFAV, Bruxelles, octobre 2008

**Geysant J.**, 2010 b, « Secret du verre rouge transparent de Bernard Perrot et comparaison avec celui de Johann Kunckel » in *Bernard Perrot, Secret et Chefs-d'œuvre des verreries royales d'Orléans*, Musée des Beaux-Arts d'Orléans/Somogy, Paris, p. 51-54.

**Gratuze B., Blet-Lemarquand M., Barrandon J.-N.**, « Mass spectrometry with laser sampling : A new tool to characterize archaeological material », *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2001, n.247/3, 645-656.

**Gratuze, B., Soulier, I., Barrandon, J.N.**, « L'analyse chimique, un outil au service de l'histoire du verre », *Verre*, 1, 1997, 9-20.

**Gratuze, B., Soulier, I., Barrandon, J.-N., Foy, D.**, « The origin of cobalt blue pigments in French glass from the thirteenth to the eighteenth century », dans *Trade and Discovery : British Museum Occasional Paper 109*, The Scientific Study of Artefacts from Post-Medieval Europe and Beyond, Ed D.R. Hook et D.R.M. Gaimster, British Museum Press, Londres, 1995, 123-133.

**Moretti C.**, « Georges Ravenscroft « inventeur » du cristal au plomb anglais », *Rivista della Stazione Sperimentale del vetro* – Venise, 2004, n.34/1, 19-32.

**Moretti C, Hreglich S.**, « English lead crystal and Ravenscroft formulation: additional considerations on raw materials utilized and on batch melting temperatures », *AIHV annales du 17e congrès*, 2006, 424-430.

**Moretti C, Zecchin P.**, « English lead crystal and Ravenscroft's formulation: additional information from venetian sources », *AIHV annales du 17e congrès*, 2006, 431-434.

**Valence (de) Ch.**, « Les innovations de Bernard Perrot à la lumière des archives », in *Bernard Perrot, Secret et Chefs-d'œuvre des verreries royales d'Orléans*, Musée des Beaux-Arts d'Orléans/Somogy, Paris, 2010, p. 43-50.

**Zecchin L.**, « Il ricettario Darduini, un codice vetrario del seicento trascritto e commentato », *Stazione Sperimentale del Vetro*, Venezia, 1986, 265 pp.