Scriptorium

Recherches préliminaires sur les matériaux utilisés pour la réglure en couleur dans les manuscrits grecs et latins

Paul Canart, Piero Del Carmine, Carlo Federici, Franco Lucarelli, John Duncan MacArthur, Pier Andrea Mandò, Marilena Maniaci, Marco Palma

Citer ce document / Cite this document :

Canart Paul, Del Carmine Piero, Federici Carlo, Lucarelli Franco, MacArthur John Duncan, Mandò Pier Andrea, Maniaci Marilena, Palma Marco. Recherches préliminaires sur les matériaux utilisés pour la réglure en couleur dans les manuscrits grecs et latins. In: Scriptorium, Tome 45 n°2, 1991. pp. 205-225;

doi : https://doi.org/10.3406/scrip.1991.1596

https://www.persee.fr/doc/scrip_0036-9772_1991_num_45_2_1596

Fichier pdf généré le 01/04/2019

RECHERCHES PRÉLIMINAIRES SUR LES MATÉRIAUX UTILISÉS POUR LA RÉGLURE EN COULEUR DANS LES MANUSCRITS GRECS ET LATINS *

Les deux manuels de codicologie publiés récemment en Espagne et en Belgique définissent la réglure en couleur de la manière suivante : tracée d'abord à la mine de plomb (ou éventuellement d'argent), elle l'a été ensuite à l'encre (1). En ce qui concerne l'introduction de la nouvelle technique dans le monde latin, l'un et l'autre texte accepte la datation traditionnelle : sauf exceptions sporadiques antérieures, entre la fin du XIe siècle et le début du XIIe pour la mine, environ un siècle plus tard pour l'encre (2).

On sait qu'en Occident la réglure en couleur a coexisté avec celle à la pointe sèche jusqu'à la fin du XVe siècle ; la seconde connaît même un regain de faveur durant ce dernier siècle dans le livre humanistique italien. Dans le monde grec, l'usage de la couleur, indubitablement plus circonscrit, a été attribué, pour le manuscrit de parchemin, à la période qui va de la fin du XIe à la fin du XIIe et à la zone calabro-sicilienne (3).

* La présente recherche a pu être réalisée grâce aux facilités de travail généreusement accordées par le R. P. Leonard Boyle, Préfet de la Bibliothèque Vaticane et Mesdames Anna Lenzuni, Directrice de la Bibliothèque Médicéo-Laurentienne de Florence et Maria Clara Lilli Di Franco, Directrice de l'Institut Central pour la Pathologie du Livre à Rome ; qu'ils trouvent ici l'expression de notre respectueuse reconnaissance. Nous remercions également le Dr. Paolo Sammuri, chimiste, pour ses précieux conseils, et M. Adriano Pecchioli, ingénieur au laboratoire KN 3000 de Florence, pour son apport technique essentiel au déroulement des mesures PIXE. La rédaction du texte a fort bénéficié des fines observations de M. Maurice Grange, physicien.

(1) E. Ruiz, *Manual de codicología*, Madrid 1988 (*Biblioteca del Libro. Serie « Maior »*), 146 ; J. Lemaire, *Introduction à la codicologie*, Louvain-la-Neuve 1989 (*Université Catholique de Louvain. Publications de l'Institut d'études médiévales. Textes, études, congrès*, 9), 110 (avec allusion à l'argent), 112-113.

(2) J. Vezin, *La réalisation matérielle des manuscrits latins pendant le haut moyen âge*, in *Codicologica*, éd. A. Gruys - J. P. Gumbert. 2. *Éléments pour une codicologie comparée*, Leiden 1978, 15-51 : 33-34 ; M. Palma, *Modifiche di alcuni aspetti materiali della produzione libraria latina nei secoli XII e XIII*, « Scrittura e civiltà », 12 (1988), 119-133 : 123-124, 125.

(3) On ne peut manquer de renvoyer ici aux travaux de J. Leroy, *La description codicologique des manuscrits grecs de parchemin*, dans *La paléographie grecque et byzantine*. Paris, 21-25 octobre 1974, Paris 1977 (*Colloques internationaux du CNRS*, 559), 27-44 : 35 ; *Quelques systèmes de réglure des manuscrits grecs*, dans *Studia codicologica*, éd. K. Treu, Berlin 1977 (*Texte und Untersuchungen zur Geschichte der altchristlichen Literatur*, 124), 291-312 : 310-311 ; *Les manuscrits grecs d'Italie*, in *Codicologica*. 2 ... 52-71 : 63. L'emploi de la « mine de plomb » pour régler des documents de cette même époque est signalé par S. G. Mercati† - C. Giannelli† - A. Guillou, *Saint-Jean-Théristès* (*1054-1264*), Città del Vaticano 1980 (*Corpus des actes grecs d'Italie du Sud et de Sicile. Recherches d'histoire et de géographie*, 5), à propos d'un jugement de l'évêque de Squillace Nicolas, daté de 1222 (acte n° 47, p. 236 et pl. 48-51).

Persée creative commons

Dans le cadre historique apparemment précis de la technique en couleur, subsiste toutefois une zone d'ombre fondamentale : les définitions « mine de plomb » (ou « d'argent ») semblent se baser bien moins sur des éléments concrets que sur des impressions visuelles. Comme nous ne possédons pas de critère sûr pour reconnaître les matériaux dont étaient composés les instruments de réglure ou le liquide dans lequel ils étaient plongés avant de tracer les lignes, nous nous basons sur l'aspect général de la trace laissée par une pointe dont nous supposons être à même de reconnaître si elle était sèche ou humide au moment de son emploi.

La nature « impressionniste » des définitions n'a pas de meilleure preuve que les hésitations des deux chercheurs qui se sont intéressés ces dernières années à ce détail archéologique : Julien Leroy pour les manuscrits grecs, Albert Derolez pour les latins. Le premier a relevé, dans quelques dizaines de manuscrits italo-grecs (4), la présence d'une réglure, surtout marginale, ou bien tracée au moyen d'une mine noire ou brune utilisée à l'instar d'une pointe sèche (selon les systèmes définis par lui comme 1 et 9), ou bien exécutée à la pointe sèche, avec renforcements à la mine ou à l'encre. Aussi bien, la distinction entre les deux techniques lui apparaît-elle comme fort douteuse (5).

Dans le vaste échantillon de manuscrits humanistiques italiens analysé par Derolez, la réglure en couleur est utilisée dans à peu près la moitié des exemplaires, mais parfois conjointement avec la réglure à la pointe sèche. Les deux types, que, par convention, nous continuerons à appeler « à l'encre » et « à la mine », sont souvent utilisés simultanément dans le même manuscrit ; ils laissent normalement une trace de couleur beige ou brun pâle et ne peuvent que rarement être distingués en toute sécurité (6).

Il nous a donc semblé opportun de soumettre un certain nombre de manuscrits réglés en couleur à un examen effectué selon une technique de type nucléaire (PIXE, c'est-à-

(4) Les 39 cas cités dans *La description codicologique* ... 35 n. 55 s'élèvent à 57 dans la contribution ultérieure de J. Leroy, *Caratteristiche codicologiche dei codici greci di Calabria,* dans *Calabria bizantina. Tradizione scrittoria e tradizione di pietà nella Calabria greca medievale,* Reggio Calabria 1983, 59-79 : 61 (où il parle seulement de renforcements « a matita bruna »). De toute façon, le nombre des manuscrits où on décèle des réglures en couleur est encore supérieur ; J. Leroy lui-même a fourni des indications supplémentaires dans le rapport intitulé *Les renforcements à la mine brune dans les manuscrits grecs du XIIe siècle* et présenté au IIe Colloque international de paléographie et codicologie grecque (Berlin-Wolfenbüttel, 17-21 octobre 1983) ; le texte en sera publié dans la « Rivista di studi bizantini e neoellenici ». La présence de renforcements est signalée systématiquement dans les descriptions sommaires d'un certain nombre de manuscrits dont Santo Lucà situe l'origine dans le centre calabrais de Rossano (S. Lucà, *Rossano, il Patir e lo stile rossanese. Note per uno studio codicologico-paleografico e storico-culturale,* « Rivista di studi bizantini e neoellenici », n.s. 22-23 (1985-86), 93-169 : 158-164 [*Elenco provvisorio di manoscritti in stile rossanese*]).

(5) Les doutes de Leroy sont exprimés clairement dans *Quelques systèmes* ... 311 e n. 2 ; *Les manuscrits grecs* ... 63 n. 78.

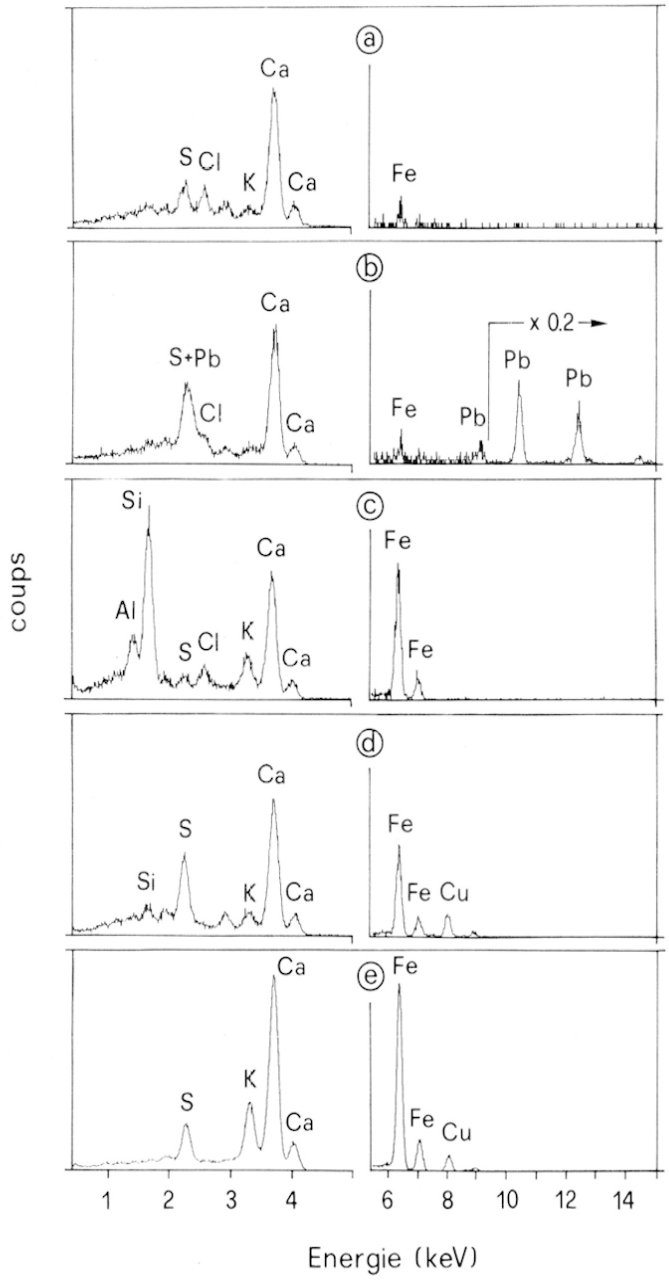
(6) A. Derolez, *Codicologie des manuscrits en écriture humanistique sur parchemin,* I, Turnhout 1984 (*Bibliologia. Elementa ad librorum studia pertinentia,* 5), 76. Le même Derolez est revenu sur l'importance de la technique de réglure comme critère de localisation des manuscrits humanistiques : A. Derolez, *Datierung und Lokalisierung humanistischer Handschriften des Quattrocento auf Grund kodikologischer Merkmale,* dans *Renaissance- und Humanistenhandschriften,* éd. J. Autenrieth, München 1988 (*Schriften des Historischen Kollegs. Kolloquien,* 13), 109-121 : 113-114.

dire « Particle Induced X-Ray Emission »); elle présente l'avantage d'être absolument inoffensive pour le manuscrit et, en même temps, de fournir au moins une première réponse fiable au problème de l'identification des matériaux employés pour la réglure.

PIXE est une technique d'analyse « élémentaire », qui relève la présence des différents éléments atomiques dans un échantillon déterminé (7). Elle se base sur l'identification des rayons X, dont l'énergie est caractéristique et différente pour chaque espèce atomique. L'émission de ces rayonnements est stimulée par le « bombardement » du matériau à analyser par un faisceau de particules — en règle générale des protons d'une énergie comprise entre 2 et 3 mégaélectronVolts (MeV) — produit par un accélérateur. L'interaction entre les particules accélérées et les atomes de la cible provoque l'expulsion d'électrons (« ionisation » des atomes) des orbites plus profondes, processus auquel succède, en un laps de temps extrêmement bref (de l'ordre de 10^{-15} secondes), un réarrangement des électrons de l'atome : un électron d'une orbite plus externe va remplir la lacune produite dans l'orbite plus interne, et ainsi de suite. Au cours de ce processus, peut être émis un rayonnement X d'énergie égale à la différence entre les énergies des orbites électroniques intéressées. Étant donné que les énergies associées aux différentes orbites ont des valeurs définies pour chaque espèce atomique, les rayons X émis auront, eux aussi, des énergies caractéristiques de l'atome ionisé. Dans la pratique, en visualisant les énergies des rayons X produits par l'interaction entre le faisceau de protons et la cible, on obtient un spectre (voir fig. 1), c'est-à-dire un histogramme de distribution des énergies mises en évidence, qui montre les éléments présents dans la cible. L'aire du pic correspondant à une énergie déterminée est une fonction croissante de la quantité de l'élément présente dans l'échantillon.

---

(7) La technique PIXE a été introduite au Lund Institute of Technology (Suède) au début des années 70 (v. T. B. Johansson - R. Akselsson - S. A. E. Johansson, *X-Ray Analysis: Elemental Trace Analysis at the 10^{-12} g Level*, « Nuclear Instruments and Methods in Physics Research », 84 [1970], 141-143). Au départ, les principales applications ont porté sur des échantillons biomédicaux ainsi que sur des aérosols d'origine naturelle et artificielle. Au cours des dernières années, l'utilisation de PIXE et d'autres techniques « nucléaires » s'est fortement développée dans le domaine de l'histoire de l'art et de l'archéologie. La bibliographie spécifique est à présent trop vaste pour être citée en détail : rappelons à titre d'exemple l'article général de J. R. Bird - P. Duerden - D. J. Wilson, *Ion Beam Techniques in Archeology and the Arts*, « Nuclear Science Application », 1 (1983), 357 ss., les actes du congrès de Pont-à-Mousson (*Proceedings of the International Workshop on Ion Beam Analysis in the Arts and Archeology*, éd. Ch. Lahanier - G. Amsel - Ch. Heitz - M. Menu - H. H. Andersen, Pont-à-Mousson, Abbaye des Prémontrés, France, 18-20 February 1985, « Nuclear Instruments and Methods in Physics Research », B 14 [1986]) et les exposés généraux de la *IX International Conference on Ion Beam Analysis*, Kingston, Ontario, Canada, 26-30 June 1989, « Nuclear Instruments and Methods in Physics Research », B 45 (1990). Un fait particulièrement significatif à cet égard est qu'en France, dans le cadre de l'initiative « Grand Louvre », a été intégré le projet AGLAE (Accélérateur du Grand Louvre d'Analyse Élémentaire), c'est-à-dire l'installation d'un accélérateur tandem de 2 MV, entièrement réservé aux analyses élémentaires et aux datations d'objets d'art par des techniques nucléaires. Voir aussi les articles cités dans les notes suivantes.



a) le parchemin (Laur. S. Marco 282, f. 66v);
b) une réglure «au plomb» (sur le même manuscrit et à la même page);
c) une réglure «au fer» (justification, Vat. gr. 2089, f. 196r);
d) une réglure «à l'encre» (justification, Laur. 29,40, f. 36r);
e) une encre du texte (Vat. lat. 591, f. 103r).

Fig. 1: Exemples de spectres en énergie X obtenus en irradiant:

Sont identifiés seulement les pics correspondant aux éléments les plus significatifs présents dans l'échantillon. En abscisse on a reporté les énergies des rayons X en keV. Les spectres de gauche se rapportent au détecteur 2, ceux de droite au détecteur 1. En ordonnée le nombre des coups (quantité des rayons X détectés) est en unité arbitraire, mais les spectres relatifs aux divers échantillons ont été normalisés entre eux sur la base du nombre de protons qui ont touché la cible. Donc les aires des pics, pour un même élément dans les différents spectres, reflètent directement les quantités de cet élément dans les échantillons, mais les rapports des aires entre deux éléments différents d'un même spectre dépendent en outre de l'efficacité du détecteur aux différentes énergies. Pour une information quantitative voir les tableaux finaux.

Vis-à-vis d'autres techniques d'analyse chimique ou physique des composantes d'un matériau, PIXE se caractérise par la combinaison favorable d'avantages multiples :

1) « méthode multiélémentaire » : une seule et même mesure révèle à la fois la présence ou non de tous les éléments de la table périodique dont le numéro atomique est $\geqslant 11$ (Na [sodium]) ; les éléments plus légers émettent des rayonnements X d'énergies trop faibles pour être mises en évidence, mais, si leur détermination est essentielle, on peut recueillir durant la même irradiation d'autres types d'information (énergie de rayonnements gamma et des particules rétrodiffusées), qui permettent d'identifier même les éléments plus légers ;

2) sensibilité élevée, aussi bien en valeur relative (capacité de déceler des éléments présents seulement sous forme de traces, jusqu'à quelques parties par million) qu'en valeur absolue (capacité de déceler des quantités extrêmement réduites, dans notre cas de l'ordre de la centaine de picogrammes, c'est-à-dire du dix-milliardième de gramme) ;

3) ni destruction ni altération de l'objet analysé.

Une autre caractéristique de PIXE est d'analyser seulement la partie superficielle de la cible (sur une épaisseur de l'ordre de la dizaine, ou au maximum de quelques dizaines de microns).

En outre, tandis qu'avec d'autres techniques, par exemple les analyses de composition au microscope électronique, il est nécessaire de placer l'objet à analyser sous vide, dans le cas de PIXE on peut faire sortir le faisceau de protons à l'air pour l'analyse, après l'avoir accéléré sous un vide poussé (« faisceau extrait »). Ainsi on effectue les mesures directement sur des objets de n'importe quelle forme ou dimension, sans devoir procéder à des prélèvements ou des préparations. De la sorte, on évite également les problèmes liés à l'instabilité sous vide (déshydratation, sublimation sélective de certaines composantes) et on réduit fortement les dommages causés par l'échauffement dû à la puissance dissipée du faisceau ; on élimine même pratiquement ce risque, en utilisant des faisceaux à très basse intensité de courant, ce que permet la haute sensibilité de la méthode.

Un dispositif adapté permet de réduire les dimensions du faisceau dans l'atmosphère jusqu'à un diamètre de 10 microns environ. En déplaçant l'échantillon par des mouvements d'ampleur micrométrique, on peut obtenir un « relevé cartographique » point par point de la composition « élémentaire » (8).

---

(8) Voir J. D. MacArthur - P. Del Carmine - F. Lucarelli - M. G. Ciardi Dupré Dal Poggetto - M. Rotta - P. Semoli, *Use of Particle-Induced X-Ray Emission as a Non Destructive Technique of Analysis of Ancient Miniatures,* dans *2nd International Conference on Nondestructive Testing. Microanalytical Methods and Environmental Evaluation for Study and Conservation of Works of Art,* 17-20 April 1988, Perugia, Italy, Section II/11 (Istituto Centrale per il Restauro - Associazione Italiana Prove Non Distruttive, Brescia 1988) et P. A. Mandò - J. D. MacArthur, *Fasci di protoni su miniature medioevali,* « Il Nuovo Saggiatore », 4 (1988), 62-70.

L'ensemble de ces caractéristiques rend la méthode PIXE à faisceau extrait de dimensions submillimétriques particulièrement adaptée à l'étude des problèmes du type qu'affronte le présent travail (9). En effet, dans des cas comme le nôtre, se vérifient les conditions suivantes : en règle générale, aucun prélèvement n'est admis ; les dimensions des détails à examiner sont normalement inférieures au millimètre ; les quantités de matière à analyser sont, en valeur absolue, extrêmement basses et distribuées en une couche très mince, et donc la sélectivité de l'information fournie par PIXE sur les couches superficielles permet plus facilement de distinguer la contribution de celles-ci et celle de l'arrière-fond.

Les mesures ont été effectuées au Département de Physique de l'Université de Florence grâce à l'accélérateur Van De Graaf KN 3000. Le faisceau de protons utilisé, de 3 MeV, projeté à l'air libre, avait un diamètre de 200 microns. Le rayonnement X émis était mesuré par deux détecteurs au silicium-lithium [Si(Li)] (10). Avec des courants de l'ordre de 300-400 picoampères, 200 secondes de temps de mesure par point examiné se sont révélées suffisantes pour obtenir des spectres statistiquement significatifs.

Pour effectuer les mesures, le manuscrit, ouvert à la page choisie pour l'analyse (dans ce cas-ci de la réglure) est disposé sur un support construit à cet effet ; on isole le feuillet en position verticale en le glissant et l'immobilisant entre deux languettes d'un cadre de bois, qui le soutient et aplanit, autant que possible, la zone à analyser. Le support et le manuscrit sont placés sur un appareil mobile télécommandé, qui permet d'exposer au faisceau de protons le détail à examiner (fig. 2 ; pl. 18). Pour chaque page choisie on fait plusieurs mesures, aussi bien sur la zone colorée que sur le parchemin qui l'entoure. En effet, quoique la pénétration du faisceau soit très limitée, une partie des interactions entre les protons et la cible se produit à l'intérieur du support (dans le présent travail, il s'agit toujours de parchemin), même lorsque le faisceau frappe une réglure ou une surface encrée ; dans ce cas, le spectre X recueilli montre, outre les énergies caractéristiques des éléments qui composent le matériau déposé sur la surface, celles relatives aux élé-

(9) L'étude de l'encre des textes antiques, des détrempes utilisées dans les manuscrits à enluminures (J. D. MacArthur et al., *Use of Particle-Induced X-Ray Emission* ... et J. D. MacArthur - P. Del Carmine - F. Lucarelli - P. A. Mandò, *Identification of Pigments in Some Colours on Miniatures from Medieval Age and Early Renaissance*, « Nuclear Instruments and Methods in Physics Research », B 45 [1990], 315-321), des céramiques peintes et des timbres sont d'autres champs d'applications auxquels le PIXE avec faisceau extrait de dimensions submillimétriques est particulièrement bien adapté.

(10) Il s'agit de deux détecteurs à semi-conducteur avec une bonne résolution énergétique (la largeur à mi-hauteur de la raie de référence à 5,9 keV est couramment de 160-180 eV). Sans entrer dans des détails techniques, remarquons que l'usage de deux détecteurs dans deux géométries différentes optimise l'efficacité de détection sur un plus grand nombre d'éléments. A cet effet, afin de faciliter la détection des rayons X émis par les éléments les plus légers, on crée une atmosphère d'hélium devant l'un des deux détecteurs. Cette atmosphère réduit très fortement l'absorption des rayons X de basse énergie qui sont caractéristiques de ces éléments.

ments constitutifs du parchemin lui-même. Il faut donc opérer la soustraction du « fond » dû au substrat immédiatement sous-jacent, « fond » qu'il est raisonnable d'estimer égal à celui obtenu en bombardant une zone contiguë de parchemin « vierge ». La soustraction est particulièrement délicate quand un élément est présent aussi bien dans le matériau déposé en surface que dans le parchemin lui-même ; dans ce cas, il ne suffit pas de détecter la présence ou l'absence du rayonnement X de l'élément dans les spectres relatifs à « matériau + fond » et à « fond seul » ; il faut au contraire en déterminer la quantité avec la plus grande précision possible, avant de pouvoir décider si, du spectre relatif à « matériau + fond », on peut déduire une présence significative de l'élément en question dans le matériau déposé en surface. Les deux spectres doivent donc être comparés, après avoir subi une « normalisation » en fonction de la quantité de protons qui ont frappé la cible ; cette normalisation peut se faire grâce à un dispositif de mesure de l'intensité de courant du faisceau qui a été construit à cette fin.

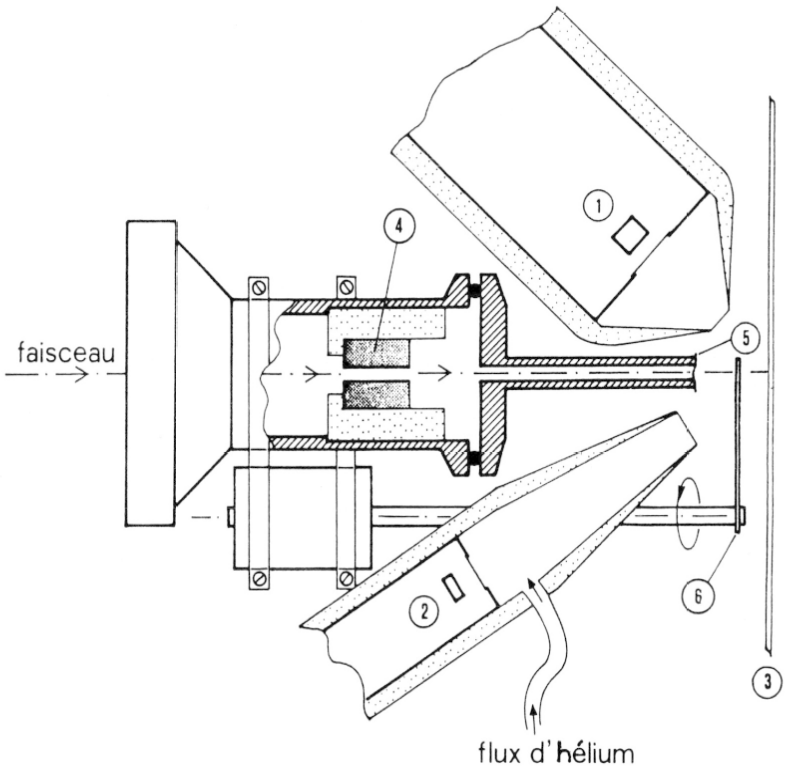


Fig. 2 : Représentation schématique de la zone de mesure.
1,2) Détecteurs Si(Li).
3) Page du manuscrit à analyser.
4) Collimateur en graphite qui définit les dimensions du faisceau.
5) Fenêtre de Kapton de 8 μm d'épaisseur, à travers laquelle le faisceau de protons sort à l'air.
6) Dispositif tournant pour l'échantillonnage du courant de faisceau.

Pendant les mesures, un système de télévision à circuit fermé permet de contrôler constamment à distance les opérations et de les enregistrer (11).

Les spectres recueillis, visualisés en temps réel par le système d'acquisition des données, sont mémorisés par l'ordinateur à la fin de chaque mesure et, par la suite, analysés au moyen de programmes adaptés, qui permettent tous les types d'élaboration voulus.

Les manuscrits examinés, vingt latins et sept grecs, ont été choisis sur la base de critères variés, mais qui concourent à la constitution d'un corpus qui, malgré son caractère réduit, est suffisamment représentatif pour une enquête préliminaire. En font partie des volumes d'époque et d'origine diverses; pour bon nombre d'entre eux, les études précédentes n'avaient pas réussi à déterminer de manière sûre la technique de réglure utilisée.

Pour le domaine grec, nous avons pu nous limiter à un nombre restreint de manuscrits: la nature marginale et en grande partie géographiquement et chronologiquement circonscrite de la réglure en couleur dans le monde byzantin rend l'échantillon très largement représentatif.

Cinq des sept manuscrits examinés, empruntés aux études déjà citées de Julien Leroy (12), sont sûrement originaires de l'Italie méridionale byzantine. On a pris en considération les manuscrits plus proches de l'époque à laquelle on attribue d'habitude l'origine du phénomène, en donnant la préférence, si possible, à des exemplaires datés ou datables et de localisation sûre ou probable.

Quatre des manuscrits ainsi repérés, produits dans la première moitié du XIIe siècle et originaires de l'aire du Détroit de Messine, présentent, quant à la technique de réglure, une affinité substantielle: ils sont tous réglés avec une pointe sèche, qui laisse parfois dans les incisions principales (ou « maîtresses ») des résidus d'une matière grise, ténus mais visibles; ils présentent en outre des renforcements à l'encre ou à la « mine brune », d'épaisseur et d'uniformité variables, et dont la couleur oscille entre le rouge brique et le gris clair. En particulier, on trouve des renforcements fins mais plutôt réguliers dans le Vat. gr. 2050, ff. 1-117 (copié en 1105 par le moine Barthélemy au monastère du Patir de Rossano (13); il contient les *Ascetica* et d'autres écrits de Basile le Grand (14)); la réglure

(11) Malgré les niveaux très faibles de courant et de radiations, la législation italienne ne permet pas que des personnes restent dans le voisinage immédiat de l'aire de mesure.

(12) V. *supra*, nn. 3 et 4.

(13) LUCÀ, *Rossano* ... 159 (données codicologiques) et *passim*. Pour les ff. 118-125 (Amphiloque, *Vie de s. Basile*), qui appartiennent à une autre unité codicologique, mais sont attribués par Lucà au même copiste, v. *ibid.* 163. Aux reproductions du manuscrit signalées par S. VOICU - S. D'ALISERA, *I.MA.G.E.S. Index in manuscriptorum Graecorum edita specimina*, Roma 1981 (cité dorénavant *I.MA.G.E.S.*), il faut ajouter LUCÀ, *Rossano* ... pl. 3; pour la bibliographie essentielle sur ce manuscrit et les suivants, on se reportera aux répertoires de P. CANART - V. PERI, *Sussidi bibliografici per i manoscritti greci della Biblioteca Vaticana*, Città del Vaticano 1970 (*Studi e Testi*, 261), et M. BUONOCORE, *Bibliografia dei fondi manoscritti della Biblioteca Vaticana (1968-1980)*, I-II, Città del Vaticano 1986 (*Studi e Testi*, 318-319).

(14) Le texte des *Ascétiques* est celui de la « recension Nil », d'origine italiote, ainsi baptisée par J. GRIBOMONT, *Histoire du texte des Ascétiques de S. Basile*, Louvain 1953 (*Bibliothèque du « Muséon »*, 32), 44-49.

est de système 9 ([15]). Le même système, joint cette fois au système 1 et complété par des renforcements sporadiques, a été employé pour régler le Vat. gr. 1611 (*Chaîne* de Nicétas d'Héraclée sur l'évangile de Luc) ([16]), imposant manuscrit à mise en page singulière ([17]), achevé en 1116/17 dans une « École de Saint-Pierre » ([18]), dont la localisation n'est pas précisée. Le Vat. gr. 1642 n'est point daté, mais c'est une copie du manuscrit précédent, exécutée à une époque qui n'est pas beaucoup postérieure ([19]) ; le volume est réglé à la pointe sèche selon les systèmes 9 et 10, mais avec l'adjonction de lignes d'une couleur qui varie du rouge au gris, et qui corrigent parfois le tracé des réglures maîtresses. Les renforcements du Vat. gr. 1646 (*Quaestiones ad Thalassium* et autres écrits de Maxime le Confesseur ; copié en 1118 par Nicolas de Reggio) ([20]) s'étendent dans certains cas à l'ensemble des lignes de réglure horizontales et verticales ; dans le même manuscrit, réglé à la pointe sèche avec prédominance du système 9, on trouve des résidus de couleur grise dans les incisions principales, tandis que les lignes qui délimitent verticalement l'espace réservé aux scholies, contemporaines du texte, sont exécutées directement à l'encre, sans trace d'incision (pl. 27 a-b).

Le Barb. gr. 412, un tétraévangile aujourd'hui mutilé, n'est ni daté ni localisé ; on peut l'attribuer sans hésitation au XIe siècle, et le situer hypothétiquement en Italie méridionale ([21]). Dans ce manuscrit, réglé uniquement à la pointe sèche selon le système

(15) LEROY, *Quelques systèmes* ... 302-303 (cfr. *La description* ... 33 ; *Les manuscrits* ... 62-63). Il s'agit, comme on sait, d'un système de réglure qu'on rencontre fréquemment en Italie méridionale (mais pas seulement là) : à partir du XIe siècle, il s'est fort répandu, en particulier dans la zone du Détroit.

(16) C. GIANNELLI, *Codices Vaticani Graeci. Codices 1485-1683,* Città del Vaticano 1950 (*Bybliotheca Apostolica Vaticana. Codices manu scripti recensiti*), 272-275 ; LUCÀ, *Rossano* ... 159 et *passim*. Cet article fournit deux reproductions du manuscrit (pl. 14 et 15), à ajouter à celles mentionnées dans *I.MA.G.E.S.* 269. Le manuscrit est copié dans une écriture d'érudit, de type cursif.

(17) La partie supérieure de chaque feuillet (sur douze lignes) est copiée à pleine page, le reste sur deux colonnes.

(18) V. les notes marginales des ff. 1v et 158r (reproduites par GIANNELLI, *Codices* ... 274). LUCÀ, *Rossano* ... 107 n. 65, propose de situer l'École de Saint-Pierre dans les environs de la grande porte de Rossano.

(19) GIANNELLI, *Codices* ... 357-358 ; LUCÀ, *Rossano* ... 162 et *passim*. On en trouve une reproduction dans G. MERCATI, *Per la storia dei manoscritti greci di Genova, di varie badie basiliane d'Italia e di Patmo,* Città del Vaticano 1935 (*Studi e Testi,* 68), tav. Ia. Sur les rapports textuels entre les Vat. gr. 1611 et 1642 v. J. SICKENBERGER, *Die Lukaskatene des Niketas von Herakleia,* Leipzig 1902 (*Texte und Untersuchungen zur Geschichte der altchristlichen Literatur,* 22, 4), 47-49.

(20) GIANNELLI, *Codices* ... 364-366. Pour les nombreuses reproductions v. *I.MA.G.E.S* 273. Il s'agit du plus ancien exemple daté de manuscrit en « style de Reggio » : v. P. CANART - J. LEROY, *Manuscrits en style de Reggio,* dans *La paléographie* ... 241-259 : 256. D'après LUCÀ, *Rossano* ... 137, il aurait été transcrit dans les environs de Rossano. Sur l'important groupe de manuscrits en « style de Reggio » originaires du monastère du Saint-Sauveur de Messine, v. l'étude récente de M. B. FOTI, *Il monastero del S.mo Salvatore* in lingua phari. *Proposte scrittorie e coscienza culturale,* Messina 1989 (nous y renvoyons également pour certains des manuscrits pris en considération dans notre étude).

(21) Le manuscrit, mutilé, contient actuellement Luc, 9,33-24,24 et Jean 1,23-21,25. Il n'en existe pas de description récente : après S. DE RICCI, *Liste sommaire des manuscrits grecs de la Bibliotheca Barberina,* « Revue des bibliothèques », 17 (1907), 81-125 : 112, v. K. ALAND, *Kurzgefasste Liste der griechischen Handschriften des Neuen Testaments.* I. *Gesamtübersicht,* Berlin 1963, 69 (= n° 166) ; tous

9, il n'y a pas de renforcements colorés, mais des restes très visibles d'une matière sombre donnent du relief, par leur couleur, à l'empreinte des réglures maîtresses (pl. 28 a-b).

Le même phénomène s'observe, bien que de manière plus ténue, aux ff. 151-239 du Vat. gr. 2089 (*Constitutiones apostolorum*) ([22]), réglés selon le système 1. On attirera l'attention sur l'antiquité de ce manuscrit, copié dans une écriture « en as de pique » de type classique ; on sait que ce style se retrouve dans une série d'autres manuscrits italo-grecs, qui s'échelonnent entre le milieu du xe et le milieu du xie siècle ([23]).

Enfin, l'Urb. gr. 35 (Aristote, *Organon*) représente un cas à part. Il s'agit d'un manuscrit de niveau notable des points de vue paléographique et codicologique, exécuté par le sous-diacre Grégoire pour le compte d'Aréthas, avant que celui-ci fût élu évêque de Césarée ([24]) ; le volume est donc d'origine orientale, probablement constantinopolitaine, et antérieur à l'année 902/3. Il est réglé à la pointe sèche selon le système 1 ; mais, dans les cahiers du début, où Aréthas a rempli de sa main l'ample espace prévu pour les scholies ([25]), celles-ci sont délimitées par des lignes verticales de couleur rouge brique, certainement contemporaines des scholies elles-mêmes (pl. 29 a-b) ([26]).

---

deux le datent du xiiie siècle, ce qui est inacceptable. On notera l'emploi pour la copie d'une encre très noire, fort différente de l'encre brun pâle ou rousse de tous les autres manuscrits grecs de l'échantillon.

(22) V. *Didascalia et constitutiones apostolorum*, éd. F. X. Funk, I, Paderbornae 1906, xxv-xxvi. Deux autres unités codicologiques distinctes complètent le manuscrit. Elles sont décrites par Lucà, *Rossano* ... 163, qui les attribue toutes deux à la main du moine Barthélemy : la première, ff. 1-72 (+ Vat. gr. 2115, ff. 99-106) contient, de Jean Chrysostome, les *Ethica* des *Homélies* VI-XXVI sur l'évangile de Matthieu ; la seconde, ff. 73-150 (+ Vat. gr. 2115, ff. 107-108) comprend des discours de Syméon Stylite, l'*Oratio de prophetis* de Chrysostome et un florilège monastique (sur lequel v. S. Lucà, *Il florilegio monastico del Vat. gr. 2089*, « *Κοινωνία* », 6 [1982], 53-59). Ces deux sections, réglées selon le système 9, présentent, comme Leroy l'avait déjà signalé, des renforcements de couleur brique, limités aux lignes verticales de justification ; dans la première partie seulement on relève en outre des traces résiduelles d'une matière sombre dans les réglures maîtresses.

(23) P. Canart, *Le problème du style d'écriture dit « en as de pique » dans les manuscrits italo-grecs*, dans *Atti del 4° Congresso storico calabrese*, Napoli 1969, 55-69 ; pour le Vat. gr. 2089, ff. 151-239 (+ Vat. gr. 2115, ff. 109-112) v. *ibid.* 68. On relève des traces de matière colorée dans les incisions de la réglure d'autres manuscrits « en as de pique » : v. les Vat. gr. 1553 et 1986, Chis. R.IV.18, Crypt. B.α.XIV, troisième main (proche de la main qui a transcrit les ff. 43-238v du Chis. R.IV.18, d'après E. Follieri, *Un nuovo codice « ad asso di picche » : il Crypt. B.α.XIV*, dans *Miscellanea in memoria di Giorgio Cencetti*, Torino 1973, 89-100 : 97-99).

(24) Mention est faite de l'emploi de la couleur par P. Canart, *Lezioni di paleografia e di codicologia greca* (cours polycopié [1984] à l'usage des étudiants de l'École Vaticane de Paléographie, Diplomatique et Archivistique), 79. La dernière description en date est celle de B. L. Fonkič, *Scriptoria bizantini. Risultati e prospettive della ricerca*, « Rivista di studi bizantini e neoellenici », n.s., 17-19 (1980-82), 73-118 : 100, 102-103 ; pour les reproductions, v. *I.MA.G.E.S.* 236. Sur la bibliothèque d'Aréthas v. la bibliographie citée dans le récent article de L. Perria, *Arethaea. Il codice Vallicelliano di Areta e la Ciropedia dell'Escorial*, « Rivista di studi bizantini e neoellenici », n.s., 25 (1988), 41-56 : 41 nn. 1-4.

(25) La majuscule de module réduit caractéristique d'Aréthas se retrouve jusqu'au f. 29 : v. Fonkič, *Scriptoria* ... 103.

(26) L'habitude de faciliter l'alignement des scholies au moyen de lignes de couleur rouge (« red crayon ») est signalée, à propos d'un groupe de manuscrits remontant à la fin du ixe siècle (et qui se

L'analyse de la majorité des manuscrits latins (douze sur vingt) a trouvé son point de départ dans le jugement formulé par Derolez sur le mode de réglure utilisé dans ces volumes.

C'est ainsi qu'on a choisi deux manuscrits que le chercheur belge avait jugé réglés respectivement seulement à la mine de plomb ou à l'encre : les Laur. 45,6 (*Commentaire* de Servius sur Virgile, copié en 1463 par *Iohannes Iohannis Almanus*) (27) et Strozzi 14 (*Sermons* d'Ephrem le Syrien, transcrit à Florence en 1474 par le copiste qui signe au moyen de la devise *Omnium rerum vicissitudo est*) (28). Le Laur. 38,3 (contenant la *Thébaïde* de Stace, copiée dans la prison de Sienne en 1410) (29) est réglé à la mine de plomb sur une seule face du parchemin, mais l'est aussi à sec dans les derniers cahiers. Dans le Laur. 39,9 (un Virgile transcrit à Ferrare en 1464 par le copiste *Iohannes Carpensis*) (30), les lignes verticales sont tracées, sauf exception, à la pointe sèche ; les lignes rectrices, au contraire, sont exécutées à l'encre. On trouve un état de fait analogue dans le Laur. Edili 215 (Cicéron, *Epistulae ad familiares,* copié à Venise en 1441 par *Nicolaus de Salvaldia*) (31). Les deux techniques de réglure en couleur, celle à la mine (sur les deux côtés du parchemin) pour la justification et celle à l'encre pour les rectrices, sont réunies dans les Laur. 54,28 (un Aule-Gelle daté de 1438, qui a appartenu à Niccolò Niccoli) (32) et Ashburnham 1117 (qui contient le *De vitandis venenis* de *Iohannes Martinus de Ferrariis,* de Parme, transcrit par *Paganus Raudensis* en 1456) (pl. 30a-b) (33).

Enfin, cinq manuscrits humanistiques ont été inclus dans l'échantillon à cause des doutes exprimés par Derolez quant à leur technique de réglure. Dans quatre cas, l'incertitude porte sur l'emploi de l'encre : il s'agit des deux Laur. 17,25 (Eusèbe de Césarée, *De praeparatione evangelica*) (34) et 19,9 (qui contient, avec le 19,10, les *Lettres* et d'autres œuvres de Jérôme) (35), transcrits en 1462 par le copiste *Ciricus de Prato* pour le compte des Médicis (36), ainsi que des Laur. 29,40 (Roger Bacon, *Perspectiva,* copié à une date

---

rattachent à la « collection philosophique ») par J. WHITTAKER, *Parisinus Graecus 1962 and the Writings of Albinus,* « Phoenix », 28, 3 (1974), 320-354 : 322 et n. 17.

(27) DEROLEZ, *Codicologie* ... I 145 n° 219 ; II, Turnhout 1984 (*Bibliologia. Elementa ad librorum studia pertinentia,* 6), 47 n° 179.

(28) DEROLEZ, *Codicologie* ... I 154 n° 324 ; II n° 263. Le copiste a été récemment identifié avec le florentin Neri Rinuccini (1453-1506) par A. C. DE LA MARE, *The Florentine Scribes of Cardinal Giovanni of Aragon,* dans *Atti del Convegno internazionale 'Il libro e il testo'. Urbino, 20-23 settembre 1982,* éd. C. QUESTA - R. RAFFAELLI, Urbino 1984 (*Pubblicazioni dell'Università di Urbino. Scienze umane. Atti di congressi,* 1), 243-293 : 262-264 ; *New Research on Humanistic Scribes in Florence,* dans *Miniatura fiorentina del Rinascimento (1440-1525). Un primo censimento,* éd. A. GARZELLI, I, Firenze 1985 (*Inventari e cataloghi toscani,* 18), 393-600 : 521-523.

(29) DEROLEZ, *Codicologie* ... II 46 n° 369.

(30) DEROLEZ, *Codicologie* ... I 143 n° 204 ; II 47 n° 173.

(31) DEROLEZ, *Codicologie* ... I 154 n° 321 ; II 56 n° 257.

(32) DEROLEZ, *Codicologie* ... II 51 n° 206.

(33) DEROLEZ, *Codicologie* ... I 155 n° 333 ; II 56 n° 254. Sur l'auteur du traité, v. L. THORNDIKE, *A History of Magic and Experimental Science,* III, New York 1934, 540-544 (sur la place du manuscrit laurentien dans la tradition manuscrite, v. en particulier 540 n. 60).

(34) DEROLEZ, *Codicologie* ... II 43 n° 143.

(35) DEROLEZ, *Codicologie* ... II 44 n° 149. Dans ce cas, le doute concerne seulement les lignes verticales.

(36) DEROLEZ, *Codicologie* ... I 133 n° 88.

non précisée par *Io. Plure Francigena*) (37) et 45,13 (Servius, *in Vergilium*, copié en 1453 par *Iohannes P. de Florentia*) (38). Dans un seul cas, celui du Laur. 38,23 (un Térence copié en 1436 par *Gabriel de Donelis*) (pl. 31a-b) (39), c'est l'utilisation de la mine de plomb qui n'est pas sûre.

Un second groupe de sept volumes a été choisi dans un milieu géographiquement et chronologiquement différent : il s'agit de manuscrits copiés en Europe septentrionale au XIIe siècle ou au plus tard au début du XIIIe, c'est-à-dire à l'époque et dans l'aire géographique où s'affirme la réglure à la mine de plomb. A quatre manuscrits de contenu classique, Birger Munk Olsen a récemment assigné, avec raison, une origine française et une date comprise entre la fin du XIIe et le début du siècle suivant : il s'agit des Laur. 38,4 (*Thébaïde* de Stace) (40), des deux Sénèque Laur. 45,24 et 25 (*Epistulae* dans les deux, plus le *De beneficiis* dans le second) (41), ainsi que du Quintilien Laur. S. Marco 282 (42).

Les Vat. lat. 90 (Pierre Lombard, *in Psalmos*) (43) et 139 (*Epîtres* pauliniennes avec glose) (pl. 32a-b) (44), datables de la seconde moitié ou de la fin du XIIe siècle, se rattachent au genre du manuscrit biblique avec glose ; il est probable que la nouvelle technique de réglure ait apporté une contribution non négligeable à leur mise en page complexe. Ce n'est pas par hasard que cette particularité a attiré en dernier lieu l'attention de Christopher de Hamel ; celui-ci a noté que, dans le courant du XIIe siècle, la couleur des lignes passe du marron, qui semble dû à « une sorte de pastel », au noir, produit par « une pointe métallique tendre » (pour la nature de laquelle il propose le plomb ou l'argent) (45).

Le Vat. Reg. lat. 509 (qui contient l'*Historia Hierosolymitanae expeditionis* d'Albert d'Aix-la-Chapelle) est daté et localisé : copié à Utrecht en 1159, il est réglé en partie à la pointe sèche et en partie en couleur (46). Pour tous les manuscrits de ce groupe, le mode

(37) DEROLEZ, *Codicologie* ... I 141 n° 180 ; II 45 n° 160.
(38) DEROLEZ, *Codicologie* ... I 147 n° 239 ; II 48 n° 180.
(39) DEROLEZ, *Codicologie* ... I 137 n° 128 ; II 47 n° 171.
(40) B. MUNK OLSEN, *L'étude des auteurs classiques latins aux XIe et XIIe siècles. II. Catalogue des manucrits classiques latins copiés du XIe au XIIe siècle : Livius-Vitruvius, florilèges, essais de plume*, Paris 1985 (*Documents, études et répertoires publiés par l'Institut de Recherche et d'Histoire des Textes*), 534.
(41) MUNK OLSEN, *L'étude* ... II 403, 403-404.
(42) MUNK OLSEN, *L'étude* ... II 295.
(43) Exécuté en même temps que le Vat. lat. 91. Voir la description dans le catalogue de M. VATTASSO - P. FRANCHI DE' CAVALIERI, *Codices Vaticani Latini*. I. *Codices 1-678*, Romae 1902, 91.
(44) VATTASSO - FRANCHI DE' CAVALIERI, *Codices* ... 116-117. M. T. Gibson a récemment proposé d'attribuer à l'activité d'Hugues de Saint-Victor et de son école l'état définitif du texte de la glose biblique : v. M. T. GIBSON, *The Twelfth-Century Glossed Bible*, in *Studia Patristica*, XXIII. Papers Presented to the Tenth International Conference in Patristic Studies Held in Oxford 1987. *Late Greek Fathers, Latin Fathers after Nicea, Nachleben of the Fathers*, éd. E. A. LIVINGSTONE, Leuven 1989, 232-244 : 241-244.
(45) C. F. R. DE HAMEL, *Glossed Books of the Bible and the Origins of the Paris Book Trade*, Woodbridge 1984, 29. L'auteur ajoute que, vers la fin du XIIe siècle, la couleur noire des lignes de réglure rappelle davantage les traces laissées aujourd'hui par un crayon.
(46) PALMA, *Modifiche* ... 128.

de réglure n'a pas encore été défini avec exactitude ; de toute façon, pour l'observateur, les lignes semblent toujours avoir été tracées à la mine de plomb.

Enfin, le Vat. lat. 591 (Grégoire le Grand, *Cura pastoralis*) constitue un cas à part : datable de la fin du XIIe siècle, il est mentionné par Elias Avery Lowe comme un des premiers manuscrits bénéventains réglés à la minc de plomb (pl. 33a-b) ([47]).

Pour chaque manuscrit, on a soumis à l'analyse différentes zones d'un ou de deux feuillets considérés comme particulièrement intéressants ou, à tout le moins, représentatifs de la réglure. Afin d'obtenir un cadre plus complet de la situation, on a souvent examiné plusieurs points des lignes de justification et des rectrices, ainsi que de l'encre du texte et des parties non écrites du parchemin ; dans quelques cas, on a procédé à un examen « par balayage », pour mettre en évidence les variations de résultats dans une séquence de points voisins (par exemple, à cheval sur une ligne). L'objectif de ces dernières analyses était d'ordre comparatif : dans le cas de l'encre du texte, pour mettre en parallèle sa composition avec celle de la réglure et en apprécier ainsi l'éventuelle affinité ; pour le parchemin « vierge », afin de connaître la nature du « fond » et contrôler son influence sur l'analyse de la réglure.

Les tableaux joints à la fin de l'article exposent les résultats quantitatifs des analyses (les quantités de chaque élément sont exprimées en microgrammes par centimètre carré). Pour comparer entre eux les résultats des différents manuscrits, il faut se souvenir que ce sont les rapports entre les divers éléments qui sont caractéristiques du matériau utilisé ; les quantités absolues dépendent au contraire de l'épaisseur du matériau lui-même (par exemple, si le copiste a appuyé plus fort sur la mine, la quantité de matériau laissée sera plus grande sans que sa nature en soit changée). Mais avant d'effectuer ces rapports, il est nécessaire de soustraire la contribution due au parchemin sous-jacent. Parfois le résultat de cette opération peut être négatif : les quantités de matière semblent être plus importantes dans le parchemin seul que dans l'ensemble « parchemin plus matériau d'écriture » ; ceci peut être dû soit à une « inhomogénéité » du parchemin, soit à l'absorption d'une partie des rayons X provenant du parchemin par la couche de matériau qui le recouvre (par exemple l'encre).

Essayons à présent de corréler les résultats des analyses PIXE avec les données fournies par la bibliographie et par l'observation directe, ainsi qu'avec la datation et la localisation des différents manuscrits. Comme base de regroupement, on a choisi l'espèce chimique qui caractérisait de manière significative la réglure. Quelques volumes, où a été décelée la coexistence de différentes techniques, apparaissent donc dans plus d'un des groupes.

---

(47) E. A. Lowe, *The Beneventan Script. A History of the South Italian Minuscule*, 2e éd. publiée par V. Brown, I. *Text*, Roma 1980 (*Sussidi eruditi*, 33), 293-294 (l'expression utilisée est « ruling with plummet »). Sur les rapports intervenus, en ce qui concerne la technique de réglure en couleur, entre la production livresque italo-grecque et la bénéventaine (ou plus généralement la latine), v. Leroy, *Caratteristiche codicologiche ...* 61 ; P. Canart, *Le livre grec en Italie méridionale sous les règnes normand et souabe : aspects matériels et sociaux*, « Scrittura e civiltà », 2 (1978), 103-162 : 117.

A) *LE PLOMB*

Il est présent dans de nombreux manuscrits (19 sur 27), où l'analyse met en évidence la seule espèce chimique Pb (plomb) ; il semble qu'il s'agisse d'un Pb métallique (parfois avec des impuretés siliceuses) ([48]). Comme il ressort de la liste ci-dessous, à ce regroupement ne correspond pas un aspect homogène du tracé : celui-ci varie en consistance (de l'uniforme au granuleux) et en coloration (du gris plus ou moins prononcé au rouge brique). En particulier, les réglures des manuscrits grecs et celle du manuscrit bénéventain Vat. lat. 591 ont en commun la couleur rougeâtre ou variant du rougeâtre au gris et la consistance plus ou moins uniforme (pl. 29 et 33) ; les autres manuscrits latins présentent au contraire des traces d'aspect plus discontinu et de couleur grise ou marron noirâtre (pl. 31, 32, 33).

COTE	DATATION	ORIGINE	ASPECT
Vat. Urb. gr. 35	avant 902	Constantinople	rouge brique uniforme
Vat. gr. 2050	1105	Rossano en Calabre	trace légère, grise puis rouge (parfois les deux coexistent)
Vat. gr. 1611	1116/1117	Calabre	trace irrégulière, changeante, fine
Vat. gr. 1646 (renf.)	1118	Détroit de Messine	rouge brique uniforme
Vat. gr. 1642	XIIe siècle (moitié)	Détroit de Messine	trace irrégulière, changeante
Vat. lat. 591	XIIe siècle (fin)	Italie méridionale	lignes changeantes, régulières
Vat. Reg. lat. 509	1159	Utrecht	lignes noirâtres, granuleuses
Vat. lat. 90	XIIe siècle (fin)	Europe septentrionale	lignes rouges et noirâtres granuleuses
Vat. lat. 139	XIIe siècle (fin)	Europe septentrionale	lignes rouges et noirâtres granuleuses
Laur. 38,4	XIIe siècle (fin)	France	lignes noirâtres, granuleuses
Laur. 45,24	XIIe siècle (fin)	France	lignes noirâtres, granuleuses
Laur. 45,25	XIIe siècle (fin)	France	lignes noirâtres, granuleuses
Laur. S. Marco 282	XIIe siècle (fin)	France	lignes noirâtres, granuleuses
Laur. 38,3	1410	Italie	lignes noirâtres, granuleuses
Laur. 38,23	1436	Italie	lignes noirâtres, granuleuses
Laur. 54,28 (just.)	1438	Italie	lignes noirâtres, granuleuses
Laur. Edili 215 (just.)	1441	Venise	lignes noirâtres, granuleuses
Laur. Ashb. 1117 (just.)	1456	Italie	lignes noirâtres, granuleuses
Laur. 45,6	1463	Italie	lignes noirâtres, granuleuses

(48) Nous avons en effet vérifié expérimentalement qu'en traçant avec une mine de plomb métallique des lignes qui à l'œil avaient une intensité comparable à celles étudiées, nous obtenions à l'analyse des résultats quantitativement en accord avec ceux trouvés pour ce groupe de manuscrits.

B) *LE FER* (quand il n'est pas imputable chimiquement à l'encre)

L'analyse des encres permet de vérifier chez elles la présence constante de Fe (fer), K (potassium) et S (soufre) (à vrai dire, ce dernier est parfois absent, mais seulement dans 10% des cas environ). Au contraire, dans les réglures des manuscrits regroupés ici, Fe se présente combiné avec d'autres éléments, parmi lesquels les plus importants sont Si et Al (aluminium), mais jamais avec S. On notera en outre que la quantité en poids de Si est du même ordre de grandeur que celle de Fe, phénomène certainement inhabituel pour une encre. En conséquence, ces réglures n'ont pas été considérées comme tracées à l'encre. La présence des éléments mentionnés à l'instant permet d'avancer l'hypothèse qu'on ait employé pour tracer les lignes un matériau à base de carbone (C n'est pas décelé par PIXE), riche d'impuretés ferreuses, avec la présence presque régulière de silicates. Ces caractéristiques correspondent à celles du graphite, dont une des formes, caractérisée par la présence de Fe et largement répandue dans la nature, a été longtemps désignée par le nom de « plombagine » ([49]). L'emploi d'une pareille substance est confirmé par la constatation que les résidus colorés apparaissent exclusivement à l'intérieur des réglures maîtresses exécutées à sec selon les systèmes 1 et 9 de Leroy : les

(49) « Plombagine » est le nom sous lequel on désignait le graphite jusqu'au siècle dernier. Plus précisément, ce terme était employé pour indiquer le graphite amorphe, lequel « étant plus tendre que le cristallin marque le papier d'une trace plus noire » (F. SELMI, *Enciclopedia di chimica scientifica e industriale*, III, Torino-Napoli 1869, 766). Le nom dérive de son aspect, « qui a l'apparence du plomb » (N. TOMMASEO, *Nuovo dizionario della lingua italiana*, III, Torino-Napoli 1869, 1044). La plombagine est produite au terme de processus métamorphiques dans des sédiments riches en matière organique (I. KOSTOV, *Mineralogy*, Edinburgh-London 1968, 105). Anciennement, on croyait que le fer était une des composantes essentielles de la plombagine, qui fut en effet appelée longtemps « carbure de fer » (SELMI, *Enciclopedia* ... 766). Cet aspect fut mis en évidence par l'analyse, qui releva une proportion d'oxyde de fer de l'ordre de 8% (I. GUARESCHI, *Nuova enciclopedia di chimica scientifica, tecnologica e industriale*, IX, Torino 1925, 153). Il est intéressant de noter la définition selon laquelle « les crayons appelés par les Français 'mines de plomb' sont des cylindres de bois (...) dans l'axe desquels est logé un (...) petit cylindre de graphite » (A. SOBRERO, *Manuale di chimica applicata alle arti*, I, Torino 1867, 119). On peut se reporter aussi à D. MUZERELLE, *Vocabulaire codicologique. Répertoire méthodique des termes français relatifs aux manuscrits*, Paris 1985 (*Rubricae. Histoire du livre et des textes*, 1), 73.

Le fait que, pour le moment, rien ne s'oppose à l'identification de la substance employée pour ce groupe de réglures avec la plombagine apporte éventuellement une certaine justification à l'usage habituel de l'appellation « réglure à la mine de plomb » pour tous les cas où l'emploi de l'encre n'est pas évident. L'origine italo-grecque, certaine ou hypothétique, des trois manuscrits assignés à ce groupe n'exclut évidemment pas que le phénomène observé se vérifie également dans d'autres zones.

On ne peut tirer aucun élément utile pour notre recherche des allusions que font les sources littéraires antiques à l'usage du plomb dans la préparation des livres, depuis la célèbre description de Catulle (22, 8 : *derecta plumbo et pumice omnia aequata* ; v. L. GAMBERALE, *Libri e letteratura nel carme 22 di Catullo*, « Materiali e discussioni per l'analisi dei testi classici », 8 [1982], 143-169 : 154-156) jusqu'aux épigrammes de l'*Anthologie Palatine* qui mentionnent un « disque de plomb » parmi les instruments du copiste (v. E. G. TURNER, *Greek Manuscripts of the Ancient World*. Second Edition Revised and Enlarged, éd. P. J. PARSONS [*University of London. Institute of Classical Studies. Bulletin. Supplement*, 46], London 1987, 4-5 et n. 10) ; dans tous les cas, il s'agit de rouleaux de papyrus et le sens exact de « plomb » n'est pas sûr.

incisions sont produites vraisemblablement par un instrument dur, qui laissait des traces de matière plus ou moins évidentes durant l'exécution de la ligne (pl. 27 et 28) (50).

COTE	DATATION	ORIGINE	ASPECT
Vat. gr. 2089	xe-xie siècle	Calabre	traces grises, irrégulières
Vat. Barb. gr. 412	xie siècle	Italie méridionale (?)	traces noires, épaisses, fréquentes
Vat. gr. 1646 (maître.)	1118	Détroit de Messine	traces grises, irrégulières

C) *L'ENCRE*

Dans ce dernier groupe, l'élément caractéristique est de nouveau Fe, combiné normalement avec S et K. Les mêmes caractéristiques, comme on l'a dit plus haut, se retrouvent dans les encres utilisées pour le texte.

Dans six des cas examinés (Ashburnham 1117 ; Edili 215 ; Laur. 17,25 ; Laur. 29,40 ; Laur. 45,13 ; Strozzi 14), la corrélation entre Fe et Cu (cuivre) permet de proposer, à titre d'hypothèse raisonnable, l'identité entre l'encre du texte et celle de la réglure (pl. 30). Dans le Laur. 19,9 en revanche les compositions chimiques des deux encres sont sensiblement différentes.

Un cas suscite quelque perplexité. Dans la réglure du Laur. 54, 28, on observe une quantité importante de Si et Al, ce qui pourrait faire penser aux manuscrits rangés sous B. Cependant, ces éléments se retrouvent aussi dans l'encre du texte ; nous avons donc considéré qu'il s'agissait d'une réglure tracée à l'encre.

COTE	DATATION	ORIGINE	ASPECT
Laur. 54,28 (rectr.)	1438	Italie	trace pâle, uniforme
Laur. Edili 215 (rectr.)	1441	Venise	trace pâle, uniforme
Laur. 45,13	1453	Italie	trace pâle, uniforme
Laur. Ashb. 1117 (rectr.)	1456	Italie	trace pâle, uniforme
Laur. 17,25	1462	Italie	trace pâle, uniforme
Laur. 19,9	1462	Italie	trace pâle, uniforme
Laur. 39,9 (rectr.)	1464	Ferrare	trace pâle, uniforme
Laur. Strozzi 14	1474	Florence	trace pâle, uniforme
Laur. 29,40	xve siècle	Italie	trace pâle, uniforme

(50) Dans ce cas aussi nous avons vérifié expérimentalement cette hypothèse. Nous avons tracé avec diverses mines de graphite d'usage courant des réglures sur du papier. En irradiant les traces obtenues, nous avons mis en évidence la présence de Fe, de Si, d'Al comme éléments caractéristiques de ce matériau (en plus de C, qui n'est pas détecté). Les quantités mesurées sont également comparables à celles observées sur les réglures de ce groupe de manuscrits.

En ce qui concerne les encres du texte — thème qui sort des objectifs spécifiques du présent travail ([51]) — nous nous bornerons ici à souligner l'utilité d'une étude systématique des rapports entre les composantes principales de l'encre (parmi lesquelles nous rappelons en particulier Fe, K, S, Cu, Na). Les analyses devraient naturellement être multipliées à des fins statistiques; nous n'avons pu le faire dans le cadre de la présente recherche. Quoi qu'il en soit, la méthode d'analyse employée s'est révélée, par ses caractéristiques, particulièrement adaptée à l'étude des encres: la composition de celles-ci, caractérisée par la présence de nombreux éléments inorganiques, se prête fort bien à une analyse par la méthode PIXE.

Au terme de cette recherche interdisciplinaire, qu'il nous soit permis d'en synthétiser brièvement les acquis.

1. L'analyse a mis nettement en évidence l'utilisation, pour la réglure en couleur, de trois types de matériaux: le plomb, le fer (élément d'un composé qui pourrait être le graphite) et l'encre. Les doutes concernant plusieurs manuscrits (surtout grecs) ont été résolus, l'emploi de l'argent n'a pas trouvé de confirmation.

2. La comparaison entre les impressions visuelles et l'analyse des éléments, bien qu'elle confirme souvent les premières (surtout dans le cas des manuscrits latins), incite à la prudence. En particulier, une partie des réglures au plomb ont un aspect curieusement changeant, tandis que celles de couleur noirâtre ne se distinguent pas visuellement de celles au fer (graphite?).

3. La technique PIXE a confirmé sa sûreté et sa fécondité. Il reste à l'améliorer encore, notamment pour l'appliquer aux éléments légers. De toute façon, elle ouvre d'amples perspectives d'application dans les recherches sur les encres et les pigments.

Città del Vaticano, Biblioteca Apostolica Vaticana — Paul CANART
Firenze, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare — Piero DEL CARMINE
Roma, Biblioteca Angelica — Carlo FEDERICI
Firenze, Università, Dipartimento di Fisica — Franco LUCARELLI
Kingston, Queen's University, Department of Physics — John Duncan MACARTHUR
Firenze, Università, Dipartimento di Fisica — Pier Andrea MANDÒ
Roma, Università «La Sapienza», Dipartimento di Studi sulle Società e le Culture del Medioevo — Marilena MANIACI
Roma, Università «La Sapienza», Scuola Speciale per Archivisti e Bibliotecari — Marco PALMA

(51) Sur ce problème on se reportera utilement à l'ouvrage bien connu de M. ZERDOUN BAT-YEHOUDA, *Les encres noires au moyen âge (jusqu'à 1600)*, Paris 1983 (*Documents, études et répertoires publiés par l'Institut de Recherche et d'Histoire des Textes*).

TABLEAUX

Les tableaux présentent les résultats quantitatifs pour les éléments les plus significatifs. Le symbole « L » signifie que la quantité de l'élément en question est plus petite que sa limite de détection, c'est-à-dire plus petite que la quantité minimale qu'il est possible de détecter dans les conditions de l'expérience. Cette limite dépend de l'élément et peut varier d'une mesure à l'autre. Les valeurs courantes pour ces limites sont approximativement (en µg/cm²) : Na de 0,4 à 3 ; Al de 0,2 à 1 ; Si 0,4 ; K 0,5 ; Cu 0,1 ; Zn (zinc) 0,1 ; Pb 0,2. Ces valeurs n'excluent pas que nous ayons pu détecter parfois des quantités plus basses.

Quand le plomb est présent dans un échantillon, il est presque impossible d'évaluer la présence de faibles quantités de soufre, car il y a superposition de certains pics du plomb avec le pic du soufre. Dans ce cas la valeur de la limite de détection du soufre est très élevée : elle peut aller jusqu'à 10 µg/cm².

Rappelons qu'avant de comparer les mesures des différents éléments il faut soustraire la contribution du parchemin sous-jacent.

L'ordre des tableaux est celui des listes des manuscrits des pages 212-217. Lorsqu'un manuscrit présente deux typologies, nous répétons le tableau le concernant.

Plomb

Vat. Urb. gr. 35 f. 14r				Vat. gr. 2050 f. 36r				Vat. gr. 2050 f. 63r		
	parch.	rectr.	encre		parch.	just.	encre	parch.	just.	encre
Pb	L	11	0.3	Pb	L	6	L	L	7	L
Fe	0.4	0.7	64	Fe	1.3	1.1	13	0.9	1.0	21
Na	2.0	1.6	5	Na	1.4	2.6	7	2.1	L	8
Al	L	0.4	0.6	Al	1.8	1.7	1.8	0.8	0.8	1.7
Si	1.1	1.1	3.0	Si	6	8	5	1.8	1.9	2.5
S	5	3.9	15	S	4.2	4.4	5	5	3.9	5
K	8	8	30	K	7	6	12	6	6	18
Ca	68	57	119	Ca	125	64	113	274	187	186
Cu	L	0.1	2.9	Cu	L	L	0.6	L	L	1.2
Zn	L	L	0.8	Zn	L	L	0.2	L	L	0.5

Vat. gr. 1611 f. 96r				Vat. gr. 1646 f. 45v					Vat. gr. 1642 f. 67v		
	parch.	just.	encre		parch.	just.	rectr.	encre		parch.	just.	encre
Pb	L	22	0.5	Pb	L	L	20	0.5	Pb	L	91	L
Fe	0.5	0.6	42	Fe	1.8	15	0.9	25	Fe	0.7	0.6	103
Na	L	2.2	3.7	Na	3.7	L	3.8	6	Na	1.4	L	14
Al	L	1.1	0.8	Al	2.6	5	2.2	1.6	Al	0.3	L	1.6
Si	1.2	1.4	1.7	Si	7	16	7	5	Si	0.8	2.5	1.8
S	5	L	23	S	5	3.6	4.4	17	S	5	L	43
K	18	16	56	K	11	11	9	18	K	8	7	38
Ca	201	174	136	Ca	77	53	68	94	Ca	189	155	203
Cu	L	0.1	2.5	Cu	L	L	0.1	3.4	Cu	L	L	2.0
Zn	L	L	0.5	Zn	L	L	L	0.8	Zn	L	L	1.3

	Vat. lat. 591 f. 103r				Vat. lat. 591 f. 145v		Vat. Reg. lat. 509 f. 149v			
	parch.	just.	rectr.	encre	parch.	just.		parch.	just.	encre
Pb	L	4.0	3.5	0.2	L	33	Pb	0.3	6	1.3
Fe	0.3	0.4	0.3	43	0.4	0.4	Fe	2.1	1.4	9
Na	1.2	0.6	0.5	1.7	L	L	Na	1.1	1.2	2.3
Al	0.3	0.5	0.2	0.3	L	L	Al	1.7	2.2	2.0
Si	0.6	0.9	0.7	0.5	0.9	0.9	Si	6	6	3.8
S	4.9	3.6	3.1	12	3.5	L	S	5	4.4	7
K	10	9	9	42	5	7	K	6	5	12
Ca	84	81	87	160	105	83	Ca	24	20	36
Cu	L	L	L	5	L	L	Cu	L	L	L
Zn	L	L	L	0.5	L	L	Zn	L	L	L

Vat. lat. 90 f. 27v					Vat. lat. 139 f. 76r					Laur. 38,4 f. 41v				
	parch.	just.	rectr.	encre		parch.	just.	rectr.	encre		parch.	just.	rectr.	encre
Pb	L	30	32	0.5	Pb	L	20	11	0.8	Pb	0.3	1.0	9	1.0
Fe	0.6	0.9	0.5	31	Fe	0.5	0.5	0.4	82	Fe	1.9	2.0	1.6	23
Na	L	L	L	1.7	Na	1.1	0.9	L	L	Na	0.8	L	1.2	1.8
Al	L	L	L	3.2	Al	0.9	0.6	0.5	0.9	Al	1.2	1.3	1.3	1.8
Si	1.2	1.7	1.0	2.3	Si	1.9	1.3	1.7	2.0	Si	3.7	3.7	3.5	5
S	3.8	L	L	28	S	3.4	L	L	11	S	6	6	3.3	6
K	8	10	5	29	K	7	7	5	78	K	6	6	6	18
Ca	150	150	105	160	Ca	87	70	52	152	Ca	21	25	29	32
Cu	L	L	L	0.1	Cu	L	L	L	L	Cu	0.1	0.1	L	0.1
Zn	L	L	L	L	Zn	L	L	L	L	Zn	0.1	L	0.1	L

Laur. 45,24 f. 35r					Laur. 45,25 f. 87r			Laur. S. Marco 282 f. 66r				
	parch.	just.	rectr.	encre		parch.	rectr.	encre		parch.	just.	rectr.	encre
Pb	0.3	37	85	L	Pb	0.3	397	0.7	Pb	L	36	65	L
Fe	0.6	0.6	0.5	51	Fe	0.5	0.7	20	Fe	0.4	0.4	0.5	11
Na	L	L	L	1.1	Na	0.6	L	1.2	Na	1.2	L	L	3.0
Al	0.4	0.3	0.3	1.3	Al	0.6	0.5	2	Al	0.4	0.2	0.6	1.6
Si	0.9	1.2	0.7	1.4	Si	1.2	1.7	1.6	Si	0.9	0.8	0.8	0.4
S	4.0	L	L	14	S	3.4	L	10	S	4.0	L	L	7
K	0.9	1.3	1.3	18	K	0.5	5	13	K	1.5	2.0	2.3	16
Ca	21	56	45	116	Ca	16	37	57	Ca	27	29	32	25
Cu	L	L	L	0.1	Cu	L	L	0.3	Cu	L	L	L	L
Zn	L	L	L	0.1	Zn	L	L	L	Zn	L	L	L	0.1

Laur. 38,3 f. 18v				Laur. 38,23 f. 56v					Laur. 54,28 f. 145v				
	parch.	rectr.	encre		parch.	just.	rectr.	encre		parch.	just.	rectr.	encre
Pb	0.9	16	0.9	Pb	L	150	204	L	Pb	L	16	0.2	L
Fe	0.6	1.3	88	Fe	0.5	1.3	1.5	43	Fe	1.2	1.6	2.6	42
Na	L	L	2.7	Na	L	L	L	2.8	Na	L	L	L	0.9
Al	L	L	3.2	Al	0.4	L	0.6	0.6	Al	0.8	1.6	2.2	3.1
Si	0.3	0.9	0.7	Si	0.8	1.5	2.3	1.7	Si	3.6	8	13	17
S	3.8	4.1	41	S	5	L	L	26	S	3.2	L	2.7	10
K	L	L	12	K	1.0	1.7	0.9	21	K	1.5	2.6	3.8	9
Ca	52	58	48	Ca	43	33	48	43	Ca	19	20	22	26
Cu	L	0.1	3.1	Cu	L	0.5	L	2.6	Cu	L	L	L	3.3
Zn	L	L	5	Zn	L	L	L	1.4	Zn	L	L	L	0.4

Laur. Edili 215 f. 37r					Laur. Ashb. 1117 f. 32r					Laur. 45,6 f. 180r				
	parch.	just.	rectr.	encre		parch.	just.	rectr.	encre		parch.	just.	rectr.	encre
Pb	L	13	0.2	0.3	Pb	L	9	L	L	Pb	0.8	30	12	8
Fe	0.3	0.4	6	37	Fe	0.2	0.1	2.6	29	Fe	0.6	1.7	0.9	52
Na	L	L	L	3.5	Na	0.8	L	L	L	Na	L	1.2	L	L
Al	L	L	L	0.5	Al	L	0.2	L	L	Al	4.0	2.6	1.7	1.0
Si	0.3	0.4	0.6	0.8	Si	0.3	0.4	L	0.3	Si	4.0	12	8	6
S	2.5	L	4.3	17	S	2.7	L	4.2	24	S	4.3	L	2.7	14
K	0.9	L	1.5	6	K	L	L	0.9	2.3	K	3.0	4.5	2.7	29
Ca	38	36	32	30	Ca	66	48	65	60	Ca	41	32	39	42
Cu	L	L	0.8	5	Cu	L	0.1	3.2	31	Cu	L	0.1	L	0.1
Zn	L	L	0.2	1.2	Zn	L	L	0.3	2.4	Zn	L	L	L	L

Fer

Vat. gr. 2089 f. 196r				Vat. Barb. gr. 412 f. 56v					Vat. gr. 1646 f. 45v				
	parch.	just.	encre		parch.	just.	rectr.	encre		parch.	just.	rectr.	encre
Pb	L	L	L	Pb	L	L	L	L	Pb	L	L	20	0.5
Fe	1.0	23	29	Fe	1.4	33	10	50	Fe	1.8	15	0.9	25
Na	1.2	L	2.2	Na	L	2.0	2.8	6	Na	3.7	L	3.8	6
Al	1.8	5.6	1.4	Al	5	10	5	1.9	Al	2.6	5	2.2	1.6
Si	6	32	5	Si	20	38	21	5	Si	7	16	7	5
S	5	4.0	13	S	10	8	11	17	S	5	3.6	4.4	17
K	11	22	21	K	13	14	13	80	K	11	11	9	18
Ca	80	91	94	Ca	75	55	90	250	Ca	77	53	68	94
Cu	L	L	0.6	Cu	L	L	L	6	Cu	L	L	0.1	3.4
Zn	0.1	L	0.3	Zn	L	L	L	L	Zn	L	L	L	0.8

Encre

Laur. 54,28 f. 145v					Laur. Edili 215 f. 37r					Laur. 45,13 f. 189r				
	parch.	just.	rectr.	encre		parch.	just.	rectr.	encre		parch.	just.	rectr.	encre
Pb	L	16	0.2	L	Pb	L	13	0.2	0.3	Pb	L	0.1	L	L
Fe	1.2	1.6	2.6	42	Fe	0.3	0.4	6	37	Fe	0.5	1.8	0.9	16
Na	L	L	L	0.9	Na	L	L	L	3.5	Na	L	L	L	1.7
Al	0.8	1.6	2.2	3.1	Al	L	L	L	0.5	Al	0.3	0.5	0.4	1.8
Si	3.6	8	13	17	Si	0.3	0.4	0.6	0.8	Si	0.5	1.0	0.8	0.6
S	3.2	L	2.7	10	S	2.5	L	4.3	17	S	2.8	3.4	3.4	8
K	1.5	2.6	3.8	9	K	0.9	L	1.5	6	K	0.6	1.4	0.6	7
Ca	19	20	22	26	Ca	38	36	32	30	Ca	14	15	14	15
Cu	L	L	L	3.3	Cu	L	L	0.8	5	Cu	L	0.8	0.3	7
Zn	L	L	L	0.4	Zn	L	L	0.2	1.2	Zn	L	0.1	L	L

Laur. Ashb. 1117 f. 32r					Laur. 17,25 f. 66r					Laur. 19,9 f. 305r				
	parch.	just.	rectr.	encre		parch.	just.	rectr.	encre		parch.	just.	rectr.	encre
Pb	L	9	L	L	Pb	L	L	0.1	6	Pb	L	1.2	L	L
Fe	0.2	0.1	2.6	29	Fe	0.2	4.4	3.3	15	Fe	0.5	5	2.3	28
Na	0.8	L	L	L	Na	L	0.7	L	2.6	Na	L	L	L	3.0
Al	L	0.2	L	L	Al	L	0.2	L	2.5	Al	0.5	L	L	4.0
Si	0.3	0.4	L	0.3	Si	0.4	1.2	0.7	1.1	Si	0.9	1.2	0.6	1.7
S	2.7	L	4.2	24	S	3.9	6	6	16	S	4.2	6	5	2.4
K	L	L	0.9	2.3	K	1.1	2.1	0.9	17	K	1.5	2.2	L	35
Ca	66	48	65	60	Ca	26	28	29	30	Ca	33	37	32	18
Cu	L	0.1	3.2	31	Cu	L	0.2	0.3	5	Cu	L	0.2	0.3	15
Zn	L	L	0.3	2.4	Zn	L	L	L	L	Zn	0.1	L	0.1	L

Laur. 39,9 f. 45r				Laur. Strozzi 14 f. 16r					Laur. 29,40 f. 36r				
	parch.	rectr.	encre		parch.	just.	rectr.	encre		parch.	just.	rectr.	encre
Pb	L	0.3	L	Pb	L	0.1	L	L	Pb	0.3	L	L	L
Fe	0.7	8	40	Fe	0.4	3.9	1.7	34	Fe	1.1	14	4.2	24
Na	L	L	2.5	Na	0.8	0.7	L	2.2	Na	L	1.2	L	3.4
Al	0.5	0.4	0.3	Al	0.6	0.3	0.4	0.5	Al	0.3	0.4	0.4	1.2
Si	0.6	0.6	1.0	Si	0.8	0.8	1.0	0.8	Si	1.2	1.2	1.4	0.9
S	4.2	6	14	S	3.3	5	2.9	12	S	4.0	10	6	17
K	1.9	2.7	11	K	0.6	0.8	L	8	K	0.6	3.9	1.2	9
Ca	53	44	47	Ca	15	19	18	16	Ca	30	33	30	27
Cu	L	0.5	1.0	Cu	L	0.2	0.1	5	Cu	L	4.0	1	11
Zn	0.1	6	2.0	Zn	L	L	L	L	Zn	L	L	L	L