



HAL
open science

Les premières perspectives de la fin du XIIIe siècle du point de vue du modus operandi

Dominique Raynaud

► **To cite this version:**

Dominique Raynaud. Les premières perspectives de la fin du XIIIe siècle du point de vue du modus operandi. *Ars, Techné, Technica. A fundamentação teórica e cultural da perspectiva*, Dec 2007, Belo Horizonte, Brésil. pp.41-62. halshs-00479825

HAL Id: halshs-00479825

<https://shs.hal.science/halshs-00479825>

Submitted on 3 May 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les premières perspectives de la fin du XIII^e siècle du point de vue du *modus operandi*

Dominique Raynaud*

Résumé. Dans cette communication, nous nous interrogeons sur les méthodes de construction des premières perspectives de la fin du XIII^e siècle qui, étant peu documentées, ont fait l'objet d'interprétations variées. L'article montre que les opérations requises par le tracé dépendent étroitement, tant en nature qu'en nombre, des principes régissant la construction perspective. Par conséquent, la longueur des séries opératoires permet dans une certaine mesure d'inférer les procédés qui ont été utilisés par les peintres. À titre d'illustration, l'examen détaillé des séries opératoires requises par *La Guérison de Jean de Lérinde*, une fresque de la basilique supérieure d'Assise, ca. 1290-92, montre que la prévalence doit être accordée aux méthodes instrumentales-géométriques plutôt qu'aux méthodes arithmétiques.

Abstract. In this paper, we wonder about the construction of the first perspective paintings of the end of the XIIIth century. Those paintings, being ill-documented, are subject to many interpretations. This article establishes that the nature and number of operations depend on the principles the perspective construction is based on. Consequently, the length of the different operating series allows us—at least partially—to infer the devices that have been used by the painters. As a case study, the detailed examination of the operating series required by *The Healing of John of Lerida*, a fresco in the upper church at Assisi, ca. 1290-92, shows that the leading position is to be given to instrumental-geometrical methods against arithmetic ones.

Introduction

Les périodes mal documentées de la fin du Duecento et du Trecento posent un problème important d'histoire de la perspective. Ne pouvant s'appuyer sur des traités ou des annotations, l'historien est souvent réduit aux conjectures. D'un côté nous ne savons presque rien du savoir optico-perspectif des artistes ; de l'autre, il est indéniable que les peintres de cette époque sont parvenus à donner l'illusion de la profondeur dans leurs œuvres. C'est pourquoi la « peinture illusionniste » ou « proto-perspective » suscite toujours l'intérêt des historiens de la perspective. Nous ne traiterons ici que des peintures réalisées *a fresco* sur le registre inférieur de la basilique supérieure d'Assise. Voici ce qui justifie cette limitation :

1° Les documents contemporains sur ces peintures murales sont pratiquement inexistantes, si bien que les historiens de l'art ne peuvent que conjecturer la date et l'identité des peintres qui sont intervenus sur ce chantier. On ne connaît pas précisément l'identité des artistes qui ont travaillé à ces fresques, tout du moins celle du peintre responsable de la mise en perspective des scènes. Beaucoup de peintres semblent s'être succédés pour réaliser le programme iconographique de la basilique supérieure. Le spectre d'attribution des scènes de *La Légende de saint Fran-*

çois est large : Giotto di Bondone, Arnolfo di Cambio parfois identifié avec le Maître d'Isaac, un peintre romain inconnu qui pourrait être Pietro Cavallini, Jacopo Torriti ou Filippo Rusuti¹. Ces attributions ne sont fondées sur aucune preuve formelle.

2° On ne connaît pas mieux les dates auxquelles ces fresques ont été réalisées. La basilique a été construite entre le 17 juillet 1228, date à laquelle la première pierre est posée par Grégoire IX, et le 11 juin 1253, date de la consécration de la basilique par Innocent IV. La période de décoration de la basilique est connue avec moins de précision : elle s'étend de 1254 à 1338 environ. Selon Vasari², Giotto aurait peint les trente-deux scènes de *La Légende de saint-François* sur le registre inférieur de la basilique supérieure, ca. 1296-1305. Le *terminus post quem* (1296) est fixé par l'élection du ministre général Giovanni da Morrovalle. Le *terminus ante quem* (1305) résulte de ce que *L'Hommage d'un homme simple* représente la tour du Palazzo del Capitano inachevée, celle-ci ayant été terminée en 1305. Certains historiens ont proposé de restreindre cet intervalle à 1296-1299, voire 1296-97, à partir de critères stylistiques³. Mais on tend aujourd'hui à antidater ces peintures en raison de plusieurs facteurs : 1° les préférences toscanes de Vasari ; 2° la reconnaissance de plus en plus nette d'une influence romaine sur les fresques assisiates ; 3° la longue vacance du Siège entre 1292-1294 qui n'appuie, ni une décision importante relative à la basilique pontificale, ni l'exécution immédiate d'une décision repoussée à 1296, sachant que celle-ci a dû résulter de tractations entre le pape, le ministre général et le peintre chargé du projet ; 4° la découverte d'un ms. franciscain du XIV^e siècle décrivant la commande de Nicolas IV⁴. Ces éléments incitent à dater les fresques ca. 1290-92, sans que tout risque d'interpolation soit écarté : certains défendent la post-dation aux années 1305-1306

* Université Pierre-Mendès-France (Grenoble), adresse électronique : dominique.raynaud@upmf-grenoble.fr

¹ L. Bellosi, La decorazione della basilica superiore di Assisi e la pittura romana di fine Duecento, *Roma Anno 1300*, a cura di A. M. Romanini, Roma, L'Erma, 1983, pp. 127-139 ; A. Parronchi, *Cavallini, discepolo di Giotto*, Firenze, Polistampa, 1994 ; A. M. Romanini, Arnolfo pittore : pittura e spazio virtuale nel cantiere gotico, *Arte medievale*, 11, 1997 : 3-33 ; R. Offner, Giotto, non Giotto, *A Discernign Eye. Essays on Early Italian Painting by Richard Offner*, ed. A. Ladis, Pennsylvania University Press, 1998, pp. 61-88 ; H. B. J. Maginnis, A. Ladis, Assisi today : the upper church, *Source*, 18, 1998 : 1-6 ; L. Bellosi, G. Ragionieri, Giotto e le storie di San Francesco nella basilica superiore di Assisi, *Assisi anno 1300*, a cura di S. Brufani e E. Menestò, Assisi, Edizioni Porziuncola, 2002 : 455-473 ; I. Hueck, B. Zanardi, Giotto e Pietro Cavallini : La questione di Assisi e il cantiere medievale della pittura a fresco, *Kunstchronik*, 57, 2004 : 287-294 ; B. Zanardi, Giotto and the St Francis cycle in Assisi, *The Cambridge Companion to Giotto*, A. Derbes, M. Sandona, eds., Cambridge University Press, 2004, pp. 32-62.

² « ... si condusse in Ascesi, città dell'Umbria, essendovi chiamato da fra' Giovanni di Muro della Marca, allora Generale de' frati di san Francesco, dove nella chiesa di sopra dipinse a fresco [...] trentadue storie della vita di San Francesco », G. Vasari, *Le Vite de' più eccellenti Pittori Scultori e Architettori nelle redazioni del 1550 e 1568*, a cura di R. Bertanini e P. Barocchi, Firenze, Sansoni editore, 1967, II, p. 100.

³ E. Lunghi, *La basilica di San Francesco di Assisi*, Antella, Scala, 1996, pp. 66-67.

⁴ D. Cooper, J. Robson, Pope Nicholas IV and the upper church at Assisi, *Apollo*, 157, 2003 : 31-35.

⁵ T. de Wesselow, *The Art of Franciscan Order in Italy*, Leiden : E.J. Brill, 2005.

3° On connaît peu de chose des techniques utilisées. Les seuls témoignages historiques sur la peinture à fresque sont ceux de Vasari et de Cennini⁶, à plusieurs siècles de distance du chantier d'Assise. L'inspection des traces visibles sur les œuvres⁷ peut pallier ces lacunes, mais elle a pour limite de devoir inférer des procédés relativement complexes à partir d'indices épars. La confrontation des témoignages historiques et des analyses matérielles permet toutefois d'identifier les trois phases principales d'exécution d'une fresque : 1° le dessin d'un modèle à l'échelle (*disegno*) ; 2° la mise au carreau (*gratta*) du modèle à la craie rouge (*sinopia*) sur la couche grossière de l'*arriccio* ; 3° le report des lignes de composition de la *sinopia* sur l'*intonaco* : les droites étant tirées au cordeau entre des points de repère, parfois repassées à la pointe (*puntaruolo*) ; les cercles étant tracés au compas ; les courbes libres étant dessinées à même l'enduit ; les visages étant reportés à l'aide de cartons (*patroni*). Mais les dessins des peintures assisiates n'ont pas été conservés, pour des motifs qui nous sont aujourd'hui mieux connus⁸. Ici ou là, l'effritement partiel de l'enduit laisse seulement apparaître la *sinopia* (comme dans la partie gauche du *Prêche devant Honorius III*)⁹. L'examen en lumière rasante permet de voir, non seulement l'empreinte du cordeau dans l'enduit frais, mais aussi les perforations des clous qui maintenaient le cordeau et, parfois même, la trace des doigts qui l'ont tenu (comme dans *L'Extase*)¹⁰. Le double report du *disegno* à la *sinopia*, de la *sinopia* à l'*intonaco*, éclaire sans doute la façon de travailler des peintres mais pose dans le même temps un problème à l'historien de la perspective : l'épure, requise dès les premières phases, disparaissait dans ces opérations de report. L'examen des fresques en lumière rasante montre un tracé partiel des fuyantes, limité le plus souvent aux seules arêtes des édifices¹¹. Les peintures murales fournissent peu d'indices sur les procédés perspectifs de la fin du Duecento et du Trecento.

4° La méconnaissance de la datation, et par conséquent du contexte historique, des auteurs et des techniques employées, interdit toute appréhension directe des connaissances qui ont été mobilisées pour réaliser le tracé perspectif. Il est plus facile de décrire la rationalisation de l'espace pictural à partir d'un jugement rétrospectif, que d'étayer ce jugement par les opérations

⁶ G. Vasari, *Vite*, p. 199 ; C. Cennini, *Il Libro dell'arte o Trattato della pittura*, a cura di C. e G. Milanesi, Firenze, Le Monnier, 1859, p. 60.

⁷ *Pittura a fresco. Tecniche esecutive, cause di degrado, restauro*, a cura di G. Basile, Firenze, Le Monnier, 1989 ; B. Zanardi, C. Frugoni, F. Zeri, *Il cantiere di Giotto. Le storie di San Francesco ad Assisi*, Milano, Skira, 1996.

⁸ B. Degenhart, A. Schmitt, *Einleitung a Corpus der Italienischen Zeichnungen 1300-1450*, I-1. *Sud- und Mittelitalien*, Berlin, Gebr. Mann Verlag, 1968, p. XIX.

⁹ « [...] Subito sopra l'aureola du Francesco è visibile una piccolissima traccia, del tutto indecifrabile, d'un disegno in rosso sinopia. Ma, al di là di questa minima prova è l'enorme complessità iconografica del ciclo a rendere impossibile l'ipotesi di una esecuzione a fresco delle scene in assenza d'un dettagliatissimo progetto su carta (o pergamena) da riportare al vero sull'*arriccio* in forma di sinopia [...] Questi dati materiali impongono di nuovo di dar per certo un assai dettagliato lavoro di progettazione del ciclo francescano, prima con disegni su carta (o pergamena) e poi sull'*arriccio* », B. Zanardi, *Il cantiere di Giotto*, pp. 24, 32.

¹⁰ *Ibid.*, pp. 24-32.

mentales qui ont guidé la main du peintre¹². C'est pourquoi les peintures murales de la fin du Duecento et du Trecento ont donné lieu à de multiples interprétations, dont on peut extraire les types, à défaut de pouvoir les caractériser individuellement. Ces interprétations occupent la totalité du spectre entre les pôles intellectualiste et empiriste.

Intellectualisme. Pour expliquer les progrès de l'expression du sens de la profondeur qui caractérise les œuvres de la fin du Duecento et du Trecento, certains historiens de la perspective comme Kern, Panofsky ou Gioseffi ont supposé que les peintres avaient acquis une conscience mathématique du « point de fuite » et des concepts associés de « convergence » et d'« infini »¹³. Cette interprétation soulève plusieurs difficultés : 1° la formation mathématique des artistes de cette époque n'est pas documentée ; ils appartenaient à la corporation des *arti mecanichi*, et non à celle des *arti liberali* à vocation intellectuelle ; 2° les tracés sont toujours affectés d'erreurs, et la convergence des arêtes vers le point de fuite est plus approximative que réellement systématique ; 3° les tentatives empiriques de rationalisation de l'espace pictural ont abouti à une grande variété de systèmes concurrents ; et on ne voit guère pourquoi celui qui prépare l'avènement de la perspective linéaire devrait seul retenir l'attention de l'historien, à l'exclusion des autres systèmes hétérodoxes.

Empirisme. Confronté à ces difficultés, l'intellectualisme a suscité l'émergence d'une tendance opposée réduisant le savoir des peintres à quelques recettes élémentaires transmises en atelier. Les œuvres pré-perspectives seraient issues de tracés empiriques, dans lesquels il ne faudrait chercher aucune autre cohérence que celle de l'intuition que l'artiste a appliquée au problème de la représentation¹⁴. L'interprétation empiriste est également discutable : 1° la cohérence de certains tracés rend suspecte la thèse selon laquelle les peintres du Moyen Âge auraient entièrement procédé à tâtons ; 2° l'absence de document historique ne valide pas davantage la thèse d'une absence de savoir théorique que celle d'une formation mathématique poussée : les lacunes documentaires signifient, au sens strict, que nous ne savons pas quel était ce niveau de formation ; 3° Aucune recette d'atelier n'est capable d'expliquer les grandes innovations perspectives (la

¹¹ *Ibid.*, p. 29 (fig. 18, 19, 20), p. 31 (fig. 22, 23, 24).

¹² En toute rigueur, le terme de perspective est inadéquat pour désigner ces œuvres. C'est pourquoi nous préférons parler ici de représentation pré-perspective. On ne doit pas prêter de fonction sémantique aux concepts de frontale, fuyante, droite de bout, horizon, point de fuite, point de distance..., mis entre guillemets dans la suite du texte.

¹³ G. J. Kern, *Die Anfänge der zentralperspektivischen Konstruktion in der italienischen Malerei des 14. Jahrhunderts*, *Mitteilungen des Kunsthistorischen Instituts in Florenz*, 2, 1913 : 39-65 ; E. Panofsky, *Die Perspective als symbolische Form*, *Vorträge der Bibliothek Warburg*, 1924 : 258-331, trad. fr. *La Perspective comme 'forme symbolique'*, Paris, Éditions de Minuit, 1975 ; D. Gioseffi, *Perspectiva artificialis. Per la storia della prospettiva, spigolature e appunti*. Trieste, Tipografia Smolars, 1957. La thèse a été amendée par R. Sinisgalli, *Per la storia della prospettiva, 1405-1605*, Roma, L'Erma, 1978.

¹⁴ J. White, *The Birth and Rebirth of Pictorial Space*, London, Faber and Faber, 1957, trad. fr. *Naissance et renaissance de l'espace pictural*, Paris, Adam Biro, 1992.

perspective centrale, le raccourci obtenu par un faisceau des diagonales, etc.), précisément parce qu'aucune innovation ne peut se réduire à une recette existante.

Autres positions. Peu d'auteurs ont échappé à la controverse. Ceux qui y sont parvenus ont ou bien pris le parti de décrire les œuvres en se gardant d'évoquer leur fondement intellectuel méconnu¹⁵, ou bien choisi de circonscrire l'histoire de la perspective à sa phase post-brunelleschienne¹⁶, ou bien imaginé une synthèse voyant, dans l'émergence de la perspective, une combinaison de savoir théorique et de pratiques d'atelier¹⁷. Certains auteurs limitent aujourd'hui leurs investigations aux parallèles existant entre le traitement artistique de la profondeur et certains thèmes de l'optique médiévale¹⁸ ; d'autres enfin donnent la priorité à l'étude de la formation et des milieux artistiques ce qui, sans exclure l'analyse des œuvres, la repousse¹⁹.

Le grand écart entre les positions intellectualistes et empiristes ne contribue guère à préciser notre connaissance des savoirs artistiques du Moyen Âge. Dans une certaine mesure, ce spectre des positions incite à penser qu'une œuvre « est un univers ouvert où l'interprète peut découvrir d'infinies connexions »²⁰. Si l'on transpose le paradigme de l'interprétation illimitée du texte à la peinture, le débat sur les techniques perspectives du Moyen Âge appelle les mêmes critiques que celles énoncées par Umberto Eco.

Pourtant les fresques de la fin du Duecento constituent d'indiscutables tentatives de mise en cohérence de l'espace. Elles restent donc en attente d'une *interprétation robuste*, conciliant la conformité empirique et un certain minimalisme conceptuel²¹. Si l'on se concentre sur les méthodes de tracé, on constate, comme plus haut, un partage des interprétations entre les tenants de la méthode arithmétique et ceux de la méthode géométrique, elle-même subdivisée en géométrie savante (à la règle et au compas) et géométrie pratique (utilisant une plus grande variété d'instruments). Méthode arithmétique, géométrique, instrumentale constituent trois hypothèses qui peuvent être départagées par des méthodes aussi élémentaires que la comparaison des séries opératoires qu'elles requièrent.

¹⁵ G. ten Doesschate, *Perspective. Fundamentals, Controversials*, Nieuwkoop, B. de Graaf, 1964, pp. 105-118.

¹⁶ M. Kemp, *The Science of Art. Optical Themes in Western Art from Brunelleschi to Seurat*, New Haven and London, Yale University Press, 1990.

¹⁷ S. Y. Edgerton, *The Heritage of Giotto's Geometry. Art and Science on the Eve of the Scientific Revolution*, Ithaca and London, Cornell University, 1991.

¹⁸ E. Simi Varanelli, Dal Maestro d'Isacco a Giotto. Contributo alla storia della "perspectiva communis" medievale, *Arte medievale*, 3, 1989 : 115-143.

¹⁹ F. Cecchini, Artisti, committenti et perspectiva in Italia alla fine del Duecento, *La prospettiva. Fondamenti teorici ed esperienze figurative dall'Antichità al mondo moderno*, Atti del Convegno Internazionale (Roma, 11-14 settembre 1995), Firenze, Edizioni Cadmo, 1998, pp. 56-74.

²⁰ U. Eco, *Les Limites de l'interprétation*, Paris, Grasset et Fasquelle, 1992, pp. 63.

²¹ J. White, *The Birth and Rebirth of Pictorial Space*, p. 32.

La Guérison de Jean de Lérïde

Considérons le cas de *La Guérison de Jean de Lérïde* dont le plafond à caissons est un damier en perspective (Planche 1). Les caissons du plafond principal sont divisés par deux faisceaux de diagonale de part et d'autres de l'axe de symétrie. Les points où convergent ces diagonales coïncident avec les « points de distance » qui permettent la détermination du raccourci dans une perspective linéaire²². Le « point de fuite » et les « points de distance » appartiennent à une horizontale qui divise les plafonds des bas-côtés en deux parties égales. Cet « horizon » coïncide de ce fait avec une droite bien visible de la composition.

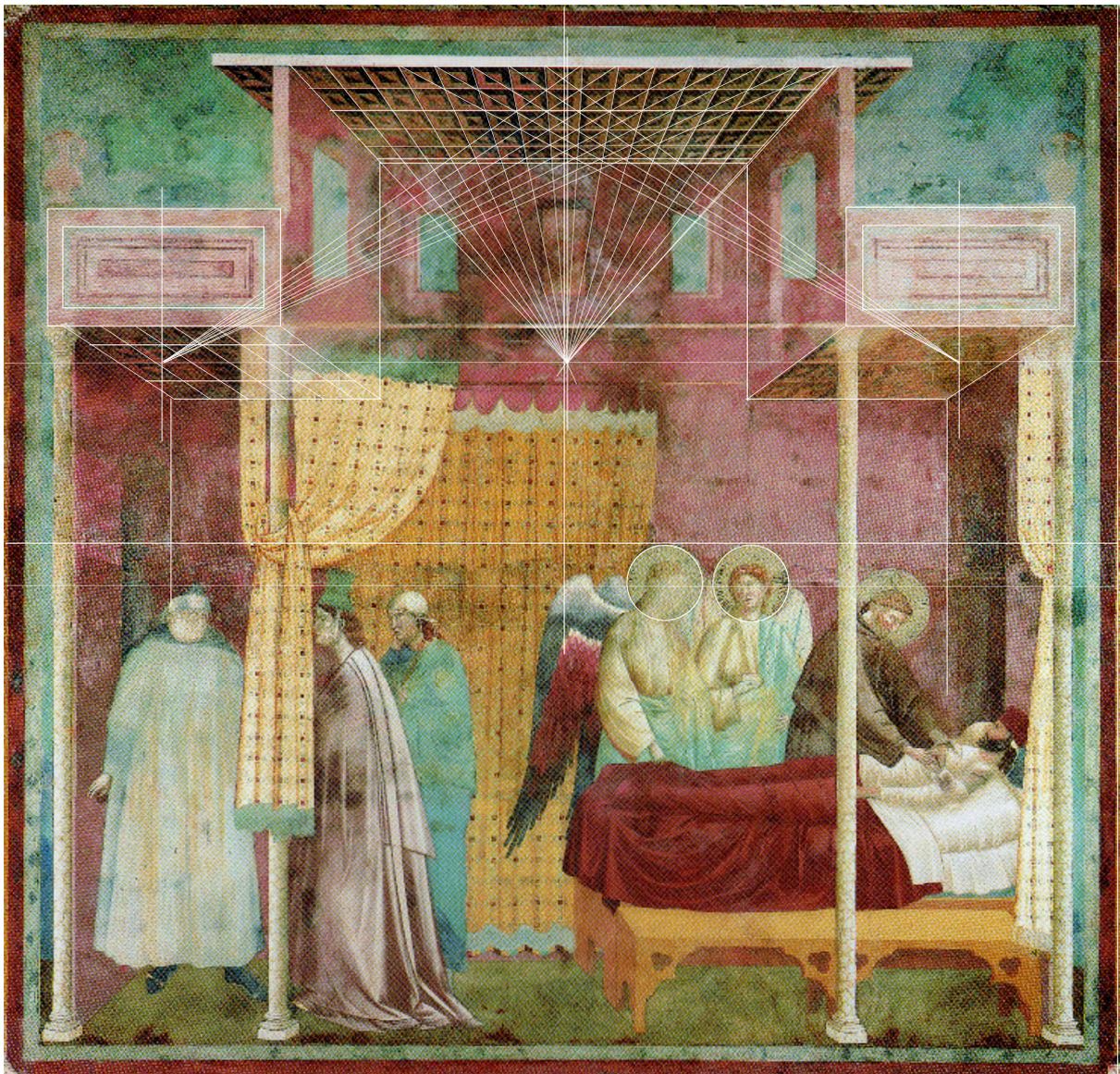


Planche 1 : *La Guérison de Jean de Lérïde*

²² Rappelons ici, pour éviter tout anachronisme, que la « méthode à point de distance » a été formulée la première fois par Jean Pèlerin Viator, *De artificiali perspectiva* (Toul, 1505), même si l'on trouve des exemples de perspective bifocale, partiellement concordante avec la précédente, antérieurement à cette date.

Cependant *La Guérison de Jean de Léride* n'est pas une perspective linéaire, car la justesse perspective du plafond ne s'applique pas aux autres parties de la fresque. Voici les principales anomalies : 1° Les plafonds latéraux sont traités en perspective cavalière alors que le plafond central est en perspective centrale ; 2° L'« horizon » est situé à environ 722 mm au-dessus de la ligne des yeux, avec laquelle il devrait normalement coïncider ; 3° Le raccourci manque de systématisme : l'horizontale la plus reculée du plafond à caissons ménage un intervalle en profondeur aussi grand que le précédent (probablement à cause d'une confusion entre cette droite et celle qui, plus haute d'à peine 12 mm, délimite le motif des caissons) : dans le cas d'une juste perspective, deux intervalles de même profondeur ont des hauteurs différentes ; 4° La fresque comporte des erreurs de tracé, l'axe de symétrie du plafond est décalé vers la droite d'environ 12 mm par rapport à celui de la composition. *La Guérison* déroge donc, dans l'ensemble, aux règles de la perspective linéaire, ce qui justifie son nom de représentation pré-perspective.

Traçons maintenant l'épure perspective, en y reportant les principales mesures (Figure 1)²³. La première valeur indique la largeur du caisson le plus étroit de la rangée, la deuxième : la largeur moyenne du caisson (nombre surligné), dans l'axe : la hauteur du caisson central, à droite : la largeur totale de la rangée de caissons (nombre souligné).

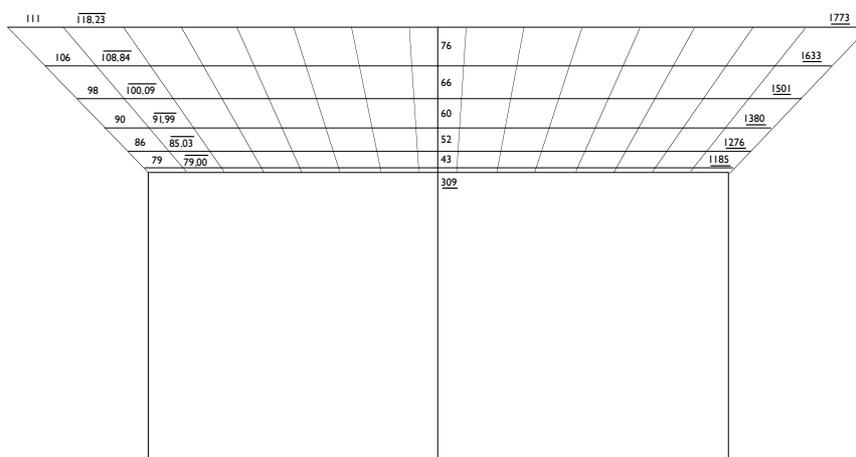


Figure 1 : Épure de *La Guérison de Jean de Léride*

Première méthode (géométrique)

Le recours à des méthodes géométriques est un présupposé courant des recherches sur la perspective. Selon Panofsky, les peintres du Trecento auraient eu une « pleine conscience de l'aspect mathématique » du point de fuite, considéré comme un « symbole concret de

²³ Nous avons utilisé le relevé photographique de B. Zanardi, *Il cantiere di Giotto*, p. 332. L'échelle se déduit des dimensions de la fresque (353 × 354 cm), de la taille en pied des personnages (110, 128, 109 cm), du diamètre de l'aurole de saint François (26 cm) et des anges (25 cm). Nous avons vérifié le parallélisme et l'absence de distorsion sur le cliché.

l'infini »²⁴. Les notions modernes de point de fuite et d'infini – que Panofsky translate vers des époques reculées sans trop s'interroger sur leur sens –, supposent une acquisition des principes de géométrie. L'emploi du mot « point de fuite » implique une cohorte de présupposés, au nombre desquels le fait que les peintres aient tracé des demi-droites à partir d'un sommet, ou constaté que les angles formés par des fuyantes contiguës s'amenuisent à mesure qu'elles s'éloignent de l'axe principal. La question est de savoir où les peintres ont puisé ces intuitions géométriques ? Ces constructions impliquent un apprentissage – même minimal – de quelques routines géométriques élémentaires²⁵.

Supposons que la perspective ait été tracée à la règle et au compas. Une même série opératoire peut être décrite à l'échelle des *macro-opérations* (tracer une perpendiculaire, diviser un segment en parties égales...) ou à celle des *opérations élémentaires* (prendre une ouverture de compas donnée, joindre deux points à la règle...) Parmi les opérations récurrentes :

- 1° *Appliquer un rapport* (3 o.e.). Mesurer un intervalle, le multiplier par p et le diviser par q . (comme dans le cas de la méthode *superbipartiens*).
- 2° *Diviser un segment en 2* (5 o.e.). Fixer la pointe du compas sur une borne du segment, tracer un cercle de même ouverture que le segment, fixer la pointe sur l'autre borne, tracer un cercle de même ouverture. La droite joignant les intersections des cercles divise le segment en 2 (*Éléments*, I.10, Figure 2²⁶).
- 3° *Tracer une parallèle à une droite donnée* (6 o.e.). Prendre une ouverture de compas donnée, fixer la pointe sèche sur un point de la droite, tracer le cercle, fixer la pointe sèche sur un autre point de la droite, tracer le cercle, tracer la tangente aux deux cercles (*Éléments*, III.16, Figure 3²⁷).
- 4° *Tracer une perpendiculaire à une droite donnée* (5 o.e.). Fixer la pointe du compas sur un point de la droite, tracer un cercle de rayon quelconque, fixer ensuite la pointe sur un autre point de la droite, tracer un cercle de même ouverture, joindre les intersections des cercles à la règle (*Éléments*, I.11, Figure 4).

²⁴ E. Panofsky, *La perspective comme 'forme symbolique'*, p. 125.

²⁵ Le texte courant était celui d'Euclide d'Alexandrie, *The First Latin Translation of Euclid's Elements commonly ascribed to Adelard of Bath: Books I-VIII and Books X.36-XV.2*, edited by H. L. L. Busard. Toronto, The Pontifical Institute of Medieval Studies, 1983 (pour un commentaire : Id., *Les Éléments*, trad. et comm. par B. Vitrac ; vol. 1, *Livres I-IV : Géométrie plane* ; vol. 2, *Livres V-VI : Proportions et similitude, Livres VII-IX : Arithmétique* ; vol. 3, *Livre X : Grandeurs commensurables et incommensurables* ; vol. 4, *Livres XI-XIII : Géométrie des solides*. Paris, PUF, 1990-2001. On doit mentionner à sa suite le commentaire très diffusé d'Al-Nayrīzī, *Anarithi in decem libros priores Elementorum Euclidis commentarii ex interpretatione Gherardi Cremonensis*, ed. M. Curze, Leipzig, B. G. Teubner, 1899. Les traités de géométrie pratique sont mentionnés note 30.

²⁶ Cette méthode est dérivée de I.10, mais évite la construction de l'angle droit, en formant de deux triangles équilatéraux de même base 1,3. Al-Nayrīzī présente une méthode plus longue, porisme des *Éléments*, I.34.

²⁷ Nous retenons la méthode la plus courte. La méthode (*Éléments*, I.31) consistant à tracer une oblique sur une droite donnée, puis à apparier les angles formés sur la droite et sa parallèle, est plus longue. Elle requiert 8 o.e. : 3 pour le tracé de l'oblique et de la parallèle ; 5 pour la mesure et le report de l'angle (*Éléments*, I.23).

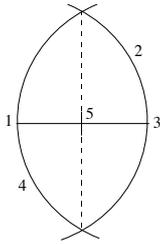


Figure 2

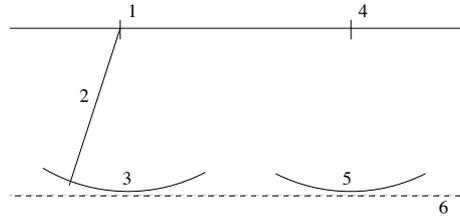


Figure 3

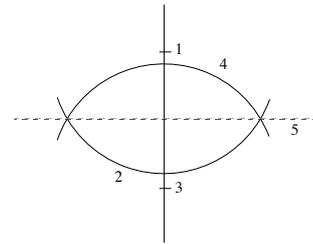


Figure 4

On peut alors définir la longueur des séries opératoires, par le nombre minimum de macro-opérations (*n.m.m.o.*) et d'opérations élémentaires (*n.m.o.e.*) requises.

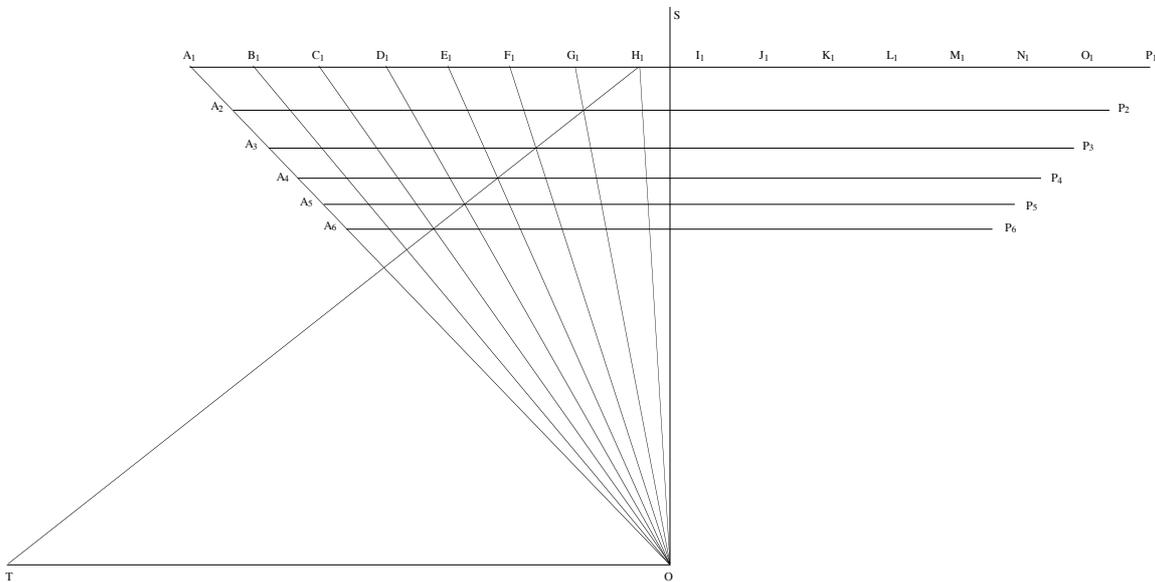


Figure 5. Épure géométrique de La Guérison

Série opératoire de la méthode géométrique (Figure 5)

- 1° Tracer l'axe OS (tracer une verticale), 3 o.e.
 - 2° Tracer la première horizontale $A_1P_1 \perp OS$ (tracer une perpendiculaire), 5 o.e.
 - 3° Calculer $\frac{1}{2}H_1I_1$ (appliquer un rapport), 3 o.e.
 - 4° Tracer H_1I_1 sur A_1P_1 de part et d'autre de l'axe OS (tracer un cercle de rayon $\frac{1}{2}H_1I_1$), 2 o.e.
 - 5° Reporter l'intervalle H_1I_1 de proche en proche sur A_1P_1 au compas, 15 o.e.
 - 6° Tracer le faisceau de droites $A_1O \dots P_1O$ à la règle, 16 o.e.
 - 7° Tracer l'horizontale $OT \perp OS$ (tracer une perpendiculaire), 5 o.e.
 - 8° Tracer la diagonale H_1T , 3 o.e.
 - 9° Tracer l'horizontale A_2P_2 passant par le point d'intersection $H_1T \cap G_1O \dots$, 6 o.e.
- Répéter 4 fois l'opération 9° pour obtenir les droites $A_3P_3 \dots A_6P_6$, 24 o.e.

n.m.m.o. = 13 *n.m.o.e.* = 83

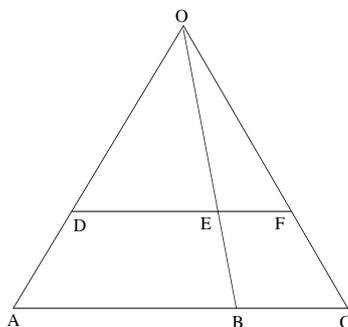
Deuxième méthode (arithmétique)

L'absence d'une convergence systématique des fuyantes dans les peintures de la fin du Duecento et du Trecento a conduit certains auteurs à douter de la mise en pratique rigoureuse de procédés géométriques. Andrés de Mesa Gisbert est l'auteur d'une des hypothèses les plus élégantes pour expliquer la convergence des fuyantes sans aucun tracé de perspective :

« Si disponemos dos rectas paralelas con cualquier distancia entre sí, y luego de dividir una de ellas en un número cualquiera de partes lo hacemos en forma similar sobre la segunda paralela, guardando exactamente las mismas proporciones con las que se lo ha hecho inicialmente, al unir los puntos correspondientes con líneas rectas, en su prolongación obtendremos la convergencia de todas ellas sobre un solo y único punto *sin necesidad de haber operado con él* »²⁸.

Ce que l'auteur nomme « une nouvelle alternative géométrique pour comprendre la convergence des orthogonales » constitue en réalité une authentique méthode arithmétique de construction des perspectives. L'hypothèse explique très simplement pourquoi les épures *ex post* montrent des points de fuite : ils seraient un pur produit de la méthode d'analyse qui présuppose l'usage de procédés géométriques. L'hypothèse explique *à la fois* l'identification de points de fuite au moyen des reconstructions *ex post*, et la parfaite inutilité des points de fuite pour construire les oeuvres : les peintres auraient employé une simple règle de proportionnalité pour diviser les fronto-horizontales en segments et pour les répartir en profondeur.

L'auteur part d'une équivalence entre les raisonnements géométrique et arithmétique. La convergence des segments AD , BE , CF ... peut être obtenue soit par le tracé des droites OA , OB , OC ... dont ces segments sont les parties visibles (*méthode géométrique*) ; soit par l'ajustement proportionnel des segments DE , EF ... aux segments AB , BC ..., les rapports de proportionnalité entre AB et DE , BC et EF suffisant à produire un point de fuite virtuel O des droites virtuelles DO , EO et FO (*méthode arithmétique*) (Figure 6).



$$(1) \frac{DE}{EF} = \frac{AB}{BC} \quad (2) \frac{OE}{ED} = \frac{OB}{BA} \quad (3) \frac{OE}{EF} = \frac{OB}{BC}$$

Figure 6 : L'hypothèse arithmétique

²⁸ A. de Mesa Gisbert, El 'fantasma' del punto de fuga en los estudios sobre la sistematización geométrica de la pintura del siglo XIV, *D'Art*, 15, 1989 : 29-50, p. 33 (mes italiques).

L'hypothèse résout en outre trois difficultés fréquemment constatées sur les peintures du Moyen Âge : 1° elle rend compte du comportement arbitraire de certaines lignes de composition, sur lesquelles les rapports de proportion n'étaient pas définis (ainsi devrait s'interpréter le parallélisme des arêtes des abaquements des chapiteaux du *Prêche devant Honorius III*) ; 2° elle explique par les mêmes motifs la présence éventuelle d'un axe de fuite, dite encore composition en arête de poisson (dans des fresques comme *La Pentecôte*, par exemple) ; 3° elle interprète le cas de la convergence vers une zone de fuite comme une conséquence des erreurs de report des segments proportionnels (une erreur de positionnement des bornes des segments $A, B, C, D, E, F...$ occasionnant une déviation plus ou moins sensible des fuyantes $AD, BE, CF...$).

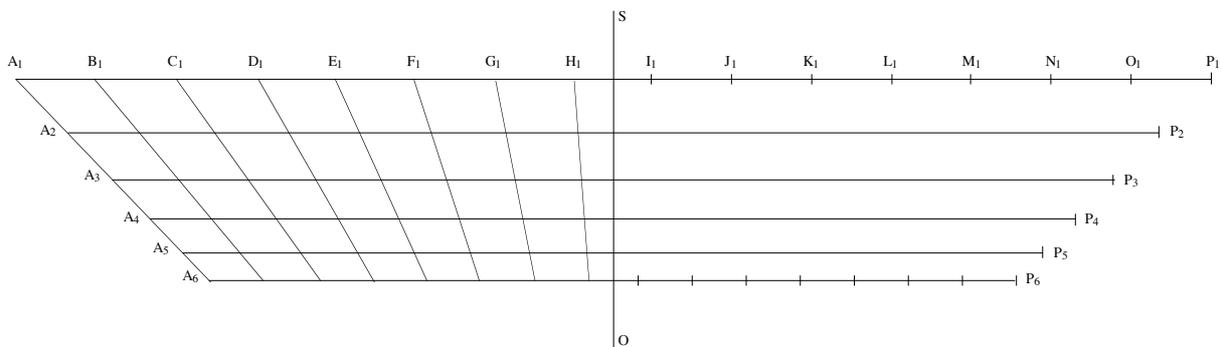


Figure 7. Épure arithmétique de la La Guérison

Série opératoire de la méthode arithmétique (Figure 7)

- 1° Tracer l'axe OS (positionner deux repères, tracer une verticale), 7 o.e.
- 2° Tracer la première horizontale $A_1P_1 \perp OS$ (tracer une perpendiculaire), 5 o.e.
- 3° Tracer une horizontale A_2P_2 distante de H_1H_2 de A_1P_1 (tracer une parallèle), 6 o.e.
- 4° Calculer $H_2H_3 = k \cdot H_1H_2$ (appliquer un rapport de proportion), 2 o.e.
- 5° Tracer une horizontale A_3P_3 distante de H_2H_3 de A_2P_2 , 6 o.e.
- Répéter 3 fois les opérations 4° et 5° pour obtenir les droites $A_4P_4 \dots A_6P_6$, 24 o.e.
- 12° Calculer $\frac{1}{2}H_1I_1$ (appliquer un rapport), 3 o.e.
- 13° Tracer H_1I_1 sur A_1P_1 de part et d'autre de l'axe OS (tracer un cercle de rayon $\frac{1}{2}H_1I_1$), 2 o.e.
- 14° Reporter l'intervalle H_1I_1 de proche en proche sur A_1P_1 au compas, 15 o.e.
- 15° Calculer $K = k^5$, 5 o.e.
- 16° Calculer $\frac{1}{2}H_6I_6 = K \cdot \frac{1}{2}H_1I_1$ (appliquer un rapport), 3 o.e.
- 17° Tracer H_6I_6 sur A_6P_6 de part et d'autre de l'axe vertical OS , 2 o.e.
- 18° Reporter l'intervalle H_6I_6 de proche en proche sur A_6P_6 au compas, 15 o.e.
- 19° Joindre A_1A_6 à la règle, 1 o.e.
- Répéter 15 fois l'opération 19° pour obtenir les segments $B_1B_6 \dots P_1P_6$, 15 o.e.

Troisième méthode (instrumentale)

Il existe une alternative aux méthodes précédentes. Sous le nom de méthode géométrique, nous avons en fait décrit les opérations à la règle et au compas, qui caractérisent la géométrie savante. Mais la géométrie pratique²⁹, ouverte à des moyens susceptibles de simplifier le tracé, s'est amplement affranchie de ces contraintes. Que montrent les fresques ? Des perforations de pointe sèche, des incisions de compas, des marques de cordeau, qui attestent de procédés instrumentaux. Le recours à la géométrie pratique – sous-espèce de la méthode géométrique – et l'introduction d'instruments autres que la règle et le compas requièrent un examen séparé.

Le *Carnet* de Villard de Honnecourt peut ici servir de document de référence. D'abord parce qu'il atteste de la dépendance des pratiques des maîtres maçons vis-à-vis de la géométrie pratique : « *En cest livre [...] si troveres le force de le portraiture, les trais come li ars de iometrie le commande et ensaigne* » ou « *Ci comence li force des trais de portraiture si con li ars de iometrie les ensaigne* »³⁰. Ensuite parce que, en certains folios, Villard décrit l'outillage de base disponible sur les chantiers du XIII^e siècle :

²⁹ Les principaux traités de géométrie pratique sont : Abraham Bar Hiyya, *Liber embadorum*, trad. Plato de Tivoli, 1145 (M. Curze, *Der Liber Embadorum des Abraham bar Chijja Savasorda in der Übersetzung des Plato von Tivoli*, Leipzig, B. G. Teubner, 1902) ; Abû Bakr, *Liber mensurationum*, trad. Gérard de Crémone, 1175 (H. L. L. Busard, L'algèbre au Moyen Âge : le 'Liber mensurationum' d'Abû Bekr, *Journal des Savants*, 1968 : 65-124) ; Anonyme, *Practica geometrie*, deuxième moitié du XII^e siècle (N. L. Hahn, *Medieval mensuration. Quadrans vetus and Geometrie due sunt partes principales*, Philadelphia, The American Philosophical Society, 1982) ; Anonyme, *Artis cuiuslibet consummatio*, ant. 1276 (S. K. Victor, *Practical Geometry in the High Middle Ages*, Philadelphia, The American Philosophical Society, 1979) ; Leonardo Fibonacci, *Practica geometriae*, ca. 1221 (*Scritti di Leonardo Pisani, matematico del secolo decimoterzo*, pubblicati da B. Boncompagni, vol. II. *Leonardi Pisani Practica geometriae ed opuscoli*, Roma, Tipografia delle scienze matematiche e fisiche, 1862) ; Robertus Anglicus, *Tractatus Quadrantis*, XIII^e siècle (P. Tannery, Le traité du quadrant de maître Robert Anglès, in *Mémoires scientifiques, V. Sciences exactes au Moyen Âge*, Toulouse, Privat, 1922, réed. Sceaux, J. Gabay, 1996, pp. 118-189) ; Jean de Murs, *De arte mensurandi*, ca. 1344 (H. L. L. Busard, *Johannes de Muris De arte mensurandi, A geometrical handbook of the fourteenth century*, Stuttgart, Franz Steiner, 1998) ; Dominicus de Clavasio, *Practica geometriae*, 1346 (H. L. L. Busard, The 'Practica geometriae' of Dominicus de Clavasio, *Archive for the History of Exact Sciences*, 2, 1965 : 520-575). Il n'est pas exclu que le traité d'Abû al Wafâ' al-Bûzjâni, *Kitâb fî mâ yahtâju ilayhî al-şâni' min a'mâl al-handasa / Livre des choses utiles aux artisans en matière de constructions géométriques* ait été connu dans l'Italie médiévale : la *Géométrie* de Nicolas Chuquet, très dépendante de sources italiennes, en reproduit de larges extraits (J. Aghayani Chavoshi, *L'œuvre scientifique d'Abû al-Wafâ' al-Buzjâni*, I. *Étude sur l'œuvre géométrique d'Abû al-Wafâ'*, II. *La géométrie pratique d'Abû al-Wafâ'*, texte persan et trad. fr., thèse de doctorat, Paris, Université de Paris VII, 1997 ; N. Chuquet, *La Géométrie. Première géométrie algébrique en langue française (1484)*, introduction, texte et notes par Hervé L'Huillier, Paris, Vrin, 1979).

³⁰ Ce lien est examiné par V. Mortet, Note historique sur l'emploi de procédés matériels et d'instruments usités dans la géométrie pratique au Moyen Âge (X^e-XIII^e siècles), *Deuxième Congrès international de philosophie*, Paris, 1904 : 925-942 ; L. R. Shelby, The geometrical knowledge of medieval master masons, *Speculum*, 47, 1972 : 395-421 ; F. Cecchini, Ambiti di diffusione del sapere ottico nel Duecento, M. Le Blanc, M. Dalai Emiliani, P. Dubourg-Glatigny, éds., *L'Artiste et l'Œuvre à l'épreuve de la perspective*, Actes du colloque international, Académie de France à Rome, École française de Rome, Università di Roma La Sapienza (19-21 septembre 2002), Publications de l'École française de Rome, 2006, 19-42.

- 1° *Linea* (cordeau). Le plus simple et le plus polyvalent des outils de chantier. Tendue entre deux points, elle permettait de tracer les droites. Lesté, elle vérifiait les aplombs. Pliée, elle permettait de diviser un segment en 2ⁿ parties. Fixée à un clou, elle traçait des cercles et des demi-droites rayonnant à partir du sommet.
- 2° *Circinus* (compas). Plusieurs compas étaient utilisés sur les chantiers du Moyen Âge, principalement : le compas à pointes sèches (qui servait au report des mesures) et le compas à secteur (qui autorisait en outre la mesure des angles).
- 3° *Norma* (équerre). Composée de deux lattes à angle droit (sans traverse d'hypothénuse), elle permettait de vérifier la justesse des angles saillants et rentrants. Les lattes présentaient la particularité de ne pas avoir leurs côtés parallèles, fait dont on ne connaît pas exactement la raison.
- 4° *Virga mensuralis* (règle à mesurer). À une époque où les unités de mesure variaient d'une région à l'autre et d'une ville à l'autre, cette simple latte de bois servait d'étalon de mesure. Lorsqu'elle était étalonnée en sous-unités, la règle devenait une jauge (*dextra*) pour les mesures de profondeur.
- 5° *Libella* (niveau, archipendule). Cet instrument était fait d'une équerre dont la traverse était crantée, et à l'angle droit de laquelle était pendu un cordeau lesté. L'alignement du cordeau sur un cran de la traverse indiquait une pente ou un angle donné. La *libella* servait donc à la fois d'équerre, de niveau horizontal (le cordeau coupant la traverse à angle droit) et fixait les principaux angles dans le plan vertical³¹.

De tels instruments ont été utilisés non seulement en architecture mais aussi en perspective. En 1494, fra' Luca Pacioli met encore l'usage du compas (*circino*) et de l'archipendule (*libella*) en relation explicite avec le tracé de la perspective :

« La *perspectiva* se ben si guarda sença dubio nulla sarebbe se queste non li se accomodasse. Cioe apieno dimostra el monarca ali tempi nostri de la pictura maestro Pietro di Franceschi nostro conterraneo... Cioe qui in Vinegia Gentil e Giovan Bellini fratelli. E in perspectivio desegno Hyeronimo Malatini. E in Fiorenza Alexandro Boticelli, Philippino e Domenico Grilandaio. E in Peroscia Pietro ditto il Perusino. E in Cortona Luca del nostro Maestro Piero degno discipul. E in Mantua Andrea Mantegna. E in Furli Melocco, con suo caro alievo, Marco Palmezzano. *Quali sempre con libella e circino lor opera proportionando a perfection mirabile conducano* »³².

Comme les instruments simplifient la construction géométrique sans en modifier la nature, l'examen de cette nouvelle série opératoire peut se fonder sur la figure relative à la construction géométrique.

³¹ H. R. Hahnloser, *Villard de Honnecourt, Kritische Gesamtausgabe des Bauhüttenbuches*, Wien, Akademische Druck- und Verlagsanstalt, 1935, pp. 11 et 91 ; R. Bechmann, *Villard de Honnecourt. La pensée technique au XIIIe siècle et sa communication*, Paris, Picard, 1991, pp. 59-64 ; R. Bechmann, A. Erlande-Brandenburg, J. Gimpel, R. Pernoud, *Carnet de Villard de Honnecourt d'après le manuscrit conservé à la Bibliothèque nationale de Paris, n°19093*, Paris, Stock, 1986.

³² L. Pacioli, *Summa di arithmetica, geometria, proportioni e proportionalità*, Venise, Paganinus de Paganinis, 1494, pref. (mes italiennes).

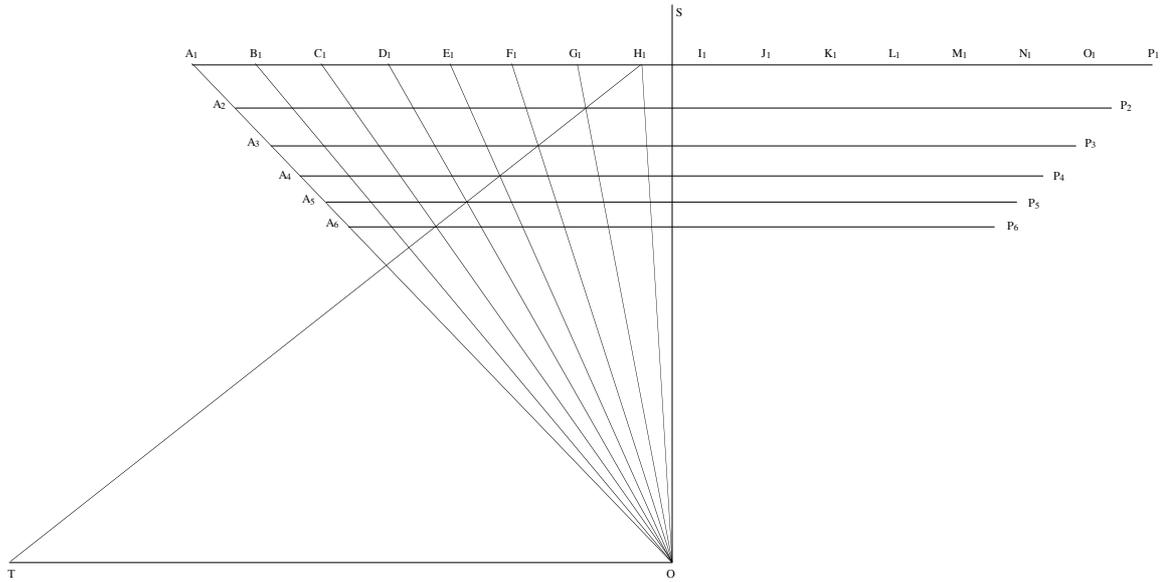


Figure 8. *Épure instrumentale de la La Guérison*

Série opératoire de la méthode instrumentale (Figure 5)

- 1° Tracer l'axe OS (tracer une verticale à la *linea*), 3 o.e.
 - 2° Tracer la première horizontale $A_1P_1 \perp OS$ à la *libella*, 3 o.e.
 - 3° Calculer $\frac{1}{2}H_1I_1$ (diviser un segment à la *linea*), 3 o.e.
 - 4° Tracer H_1I_1 sur A_1P_1 de part et d'autre de OS (tracer le cercle $r = \frac{1}{2}H_1I_1$ au *circinus*), 2 o.e.
 - 5° Reporter l'intervalle H_1I_1 de proche en proche sur A_1P_1 au *circinus* ou à la *linea*, 15 o.e.
 - 6° Tracer le faisceau de droites $A_1O \dots P_1O$ à la *linea*, 16 o.e.
 - 7° Tracer l'horizontale $OT \perp OS$ à la *libella*, 3 o.e.
 - 8° Tracer la diagonale H_1T à la *linea*, 3 o.e.
 - 9° Tracer l'horizontale A_2P_2 passant par l'intersection $H_1T \cap G_1O$ à la *libella*, 3 o.e.
- Répéter 4 fois l'opération 9° pour obtenir les droites $A_3P_3 \dots A_6P_6$ à la *libella*, 12 o.e.*

n.m.m.o. = 13 *n.m.o.e.* = 63

Conclusion

La comparaison des séries opératoires peut servir de critère pour départager les hypothèses de construction des proto-perspectives antérieures au Quattrocento. Dans le cas d'espèce que nous avons examiné, elle donne un net avantage à la méthode (géométrique) instrumentale qui présente :

1° une nette supériorité du point de vue de la correspondance empirique, puisque les instruments qu'elle mobilise sont ceux-là même dont on peut repérer les traces sur les murs du registre inférieur de la basilique supérieure d'Assise ;

2° une nette supériorité sur le plan de la simplicité opératoire – ou du « minimalisme conceptuel » réclamé par John White – puisque seuls interviennent ici les gestes courants attestés sur les chantiers du XIII^e siècle ;

3° une nette supériorité, enfin, du point de vue de la longueur procédurale, puisqu'elle est plus rapide que les deux autres : la méthode instrumentale requiert presque trois fois moins de macro-opérations et deux fois moins d'opérations élémentaires que la méthode arithmétique ($13 < 34 \text{ n.m.m.o.}$; $63 < 111 \text{ n.m.o.e.}$)³³.

	<i>M. arithmétique</i>	<i>M. géométrique</i>	<i>M. instrumentale</i>
<i>n.m.m.o.</i>	34	13	13
<i>n.m.o.e.</i>	111	83	63

Du point de vue méthodologique, la longueur des séries opératoires n'est toutefois pas un critère suffisant pour identifier la méthode de construction qui a guidé le tracé d'une œuvre donnée. Mais, associée à d'autres éléments, elle prend toute sa force probatoire et permet d'infirmer ou de corroborer une hypothèse. Retournons aux fresques d'Assise. L'hypothèse de la méthode arithmétique se heurte à deux autres objections puissantes :

1° Les principales scènes (*L'Approbaton de la Règle franciscaine*, *Le Prêche devant Honorius III*, *La Guérison de Jean de Léride*) ne présentent pas de mesures multiples ou sous-multiples des unités utilisées en Italie centrale au XIII^e siècle, ce que requiert implicitement la méthode arithmétique.

2° Les « points de fuite » et les « points de distance » coïncident régulièrement – et non seulement accidentellement – avec des lieux remarquables de la composition picturale³⁴, ce qui est incompatible avec l'usage de la méthode arithmétique.

Pris isolément, ces éléments n'ont pas de grande force probatoire. Pris ensemble, ces faits (longueur de la série opératoire, absence de multiples d'unités de mesure, coïncidence des points de fuite avec des lieux remarquables de la composition) retirent beaucoup de crédit à l'hypothèse d'une construction arithmétique des représentations pré-perspectives du XIV^e siècle.

³³ Cette différence ne tient pas à la complexité de la méthode arithmétique, mais au fait qu'elle implique un plus grand nombre d'opérations sous-jacentes (notamment géométriques). Ainsi, suppose-t-elle le parallélisme des droites sur lesquelles elle invoque la proportionnalité des segments ; mais ce parallélisme doit être construit. De même, l'axe de symétrie vertical, de part et d'autre duquel sont répartis les intervalles, n'est pas donné mais construit. Dès que toutes les opérations implicites sont restituées, la méthode arithmétique devient plus laborieuse que les méthodes de géométrie savante ou pratique.

³⁴ Un autre exemple, le *Santo seduto* de Giusto de' Menabuoi au Palazzo della Ragione de Padoue, est étudié dans D. Raynaud, *La théorie des erreurs et son application à la reconstruction des tracés perspectifs*, M. Le Blanc, M. Dalai Emiliani, P. Dubourg-Glatigny, éd., *L'Artiste et l'Œuvre à l'épreuve de la perspective*, Actes du colloque

Prenons du recul. L'hypothèse instrumentale (i.e. faisant appel à des procédés de géométrie pratique) ne s'inscrit pas dans le spectre classique d'interprétation des techniques pré-perspectives. D'abord parce qu'elle n'est pas clairement affiliée aux positions intellectualistes ou empiristes mentionnées plus haut (la géométrie pratique est un savoir, mais implique l'accomplissement de gestes concrets). Ensuite parce que, étant un savoir-faire de chantier, elle offre une voie pour saisir l'origine des techniques pré-perspectives.

Beaucoup de traités de géométrie pratique³⁵ comprennent, sous le titre générique de *misura all'occhio*, des passages d'optique élémentaire. Les exercices les plus courants, consistant à déterminer la hauteur d'une tour, la largeur d'un fleuve, ou la profondeur d'un puits à l'aide des triangles semblables, font ordinairement intervenir des instruments tels que la *virga*, le *quadratum geometricum* ou le *quadrans*³⁶. Ces exercices pouvaient donc conduire à la loi de diminution des grandeurs perspectives autrement que par la voie théorique de l'optique géométrique. On a déduit de cela, non sans raison, que l'enseignement de géométrie pratique dispensé dans les écoles d'abaque³⁷, pouraait constituer l'authentique origine des méthodes perspectives.

Cela ne suffit pas à expliquer la révolution picturale engagée de la fin du Duecento au Quattrocento. Bien d'autres éléments, qui ne dépendent aucunement de la géométrie pratique, sont à l'origine de ce mouvement. En voici deux exemples :

- Les compositions axiales observées dans de nombreuses fresques du Duecento au Quattrocento, furent vraisemblablement des retranscriptions du principe de la vision binoculaire. Celui-ci est irréductible à la géométrie. Il s'agit d'un principe d'*optique physiologique*³⁸ ;

international, Académie de France à Rome, École française de Rome, Università di Roma La Sapienza (19-21 septembre 2002), Publications de l'École française de Rome, 2006, 411-430.

³⁵ Signalons quelques avancées récentes en ajoutant aux titres de la note 30 : Anonimo fiorentino, *Trattato di geometria pratica, dal codice L.IV.8 (secolo XV) della Biblioteca comunale di Siena*, a cura di A. Simi, Siena, Quaderni del Centro Studi della matematica medievale, 1993 ; A. Simi, L. Toti-Rigatelli, Some 14th and 15th century texts on practical geometry, M. Folkerts and J. P. Hogendijk, eds., *Vestigia Mathematica. Studies in Medieval and Early Modern Mathematics in Honour of H. L. L. Busard*, Amsterdam/Atlanta, Rodopi, 1993, pp. 453-470 ; A. Simi, Problemi caratteristici della geometria pratica nei secoli XIV-XVI, *Scienze matematiche e insegnamento in epoca medioevale*, Atti del convegno internazionale a cura di P. Freguglia, L. Pellegrini e R. Paciocco (Chieti, 2-4 maggio 1996), Napoli, ESI, 2000, pp. 153-200.

³⁶ Par exemple : S. K. Victor, *Practical Geometry [Artis cuiuslibet consummatio]*, *op. cit.*, p. 294 sq. « Turris altitudinem metiri » ; P. Tannery, Le traité du quadrant de maître Robert Anglès, *op. cit.*, p. 178 sq. « De turri inaccessiblei mensuranda per quadrantem » ; H. L. L. Busard, *Johannes de Muris De arte mensurandi*, *op. cit.*, p. 145 sq. « Cuiuslibet rei accessibilis altitudinem, longitudinem et profunditatem invenire » ; H. L. L. Busard, The 'Practica geometriae' of Dominicus de Clavasio, *op. cit.*, p. 537 sq. « Altitudinem cuiuslibet rei perpendiculariter erecte super planum cuius summitas et terminus inferior videntur mensurare ».

³⁷ Ainsi, il est attesté que « arismetricha, geometria, edificare e prospettiva » ont été enseignées ensemble à la *scuola d'abaco* de S. Trinità de Florence, ca. 1380, F. Cecchini, *Ambiti di diffusione del sapere ottico nel Duecento*, *op. cit.*, p. 30.

³⁸ D. Raynaud, La théorie des erreurs, *op. cit.* ; Ibn al-Haytham sur la vision binoculaire : précurseur de l'optique physiologique, *Arabic Sciences and Philosophy*, 2003, 13, 79-99 ; Une application méconnue des principes de la vision binoculaire : Ibn al-Haytham et les peintres italiens du Trecento, *Oriens/Occidens*, 2004, 5, 93-131.

- Les réflexions, plus tardives, de Leonardo da Vinci sur la « perspective aérienne » s'appuient sur une étude de la diffusion atmosphérique, phénomène qui dépend essentiellement du domaine de l'*optique physique*.

Les fondements de ces applications picturales étant exposés exclusivement dans des traités d'optique – principalement dans l'optique d'Ibn al-Haytham et toute sa descendance latine –, il s'ensuit que la géométrie pratique a probablement joué un rôle secondaire dans l'acquisition des techniques pré-perspectives, derrière le corpus de l'optique médiévale.