



HAL
open science

Une application méconnue des principes de la vision binoculaire: Ibn al-Haytham et les peintres du Trecento (1295-1450)

Dominique Raynaud

► **To cite this version:**

Dominique Raynaud. Une application méconnue des principes de la vision binoculaire: Ibn al-Haytham et les peintres du Trecento (1295-1450). *Oriens-Occidens : : sciences, mathématiques et philosophie de l'Antiquité à l'Age classique*, 2004, 5, pp.93-131. halshs-00006243

HAL Id: halshs-00006243

<https://shs.hal.science/halshs-00006243>

Submitted on 25 Nov 2005

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.

Une application méconnue des principes de la vision binoculaire: Ibn al-Haytham et les peintres du Trecento (1295-1450)

Dominique Raynaud¹

Résumé: Dans les *Due regole della prospettiva pratica*, Vignola et Danti condamnent un système hétérodoxe de perspective à deux points de fuite. Après avoir analysé les épures de trente tableaux du Moyen Âge répondant à cette définition, il est montré que ces oeuvres ne répondent à aucun type connu de perspective. Elles échappent notamment aux règles de la « perspective synthétique » (Panofsky, White) et à celles de la « perspective bifocale » (Parronchi). Des arguments sont alors avancés pour reconnaître une application des principes de la vision binoculaire contenus dans les traités d'optique médiévale (Ibn al-Haytham et ses commentateurs latins). Sous cette hypothèse, la restitution des géométraux à partir des vues perspectives conduit à des résultats cohérents et conformes aux modèles architecturaux contemporains. Ces arguments incitent à reconnaître une application qualitative de la « perspective centrale binoculaire » au Moyen Âge.

Mots-clefs: techniques de représentation médiévales, perspective, vision binoculaire.

Abstract: In the *Due regole della prospettiva pratica*, Vignola and Danti criticize an heterodox system of perspective with two vanishing points. Having examined the working drawings of thirty medieval pictures fitting with this definition, it is shown that these pictures don't meet any type of known perspective system. In particular, they defy the rules of "synthetic perspective" (Panofsky, White) and those of "bifocal perspective" (Parronchi). Now, arguments are put forward to recognize an application of the principles of binocular vision appearing in medieval optical treatises (Ibn al-Haytham and his Latin commentators). Under this hypothesis, the reconstruction of ground-plans from perspective views leads to spatial results, both consistent and conform to contemporaneous architectural models. These arguments encourage to recognize a qualitative application of "binocular central perspective in the Middle Ages.

Keywords: mediaeval representation techniques, perspective, binocular vision.

Introduction

Dans les *Due regole della prospettiva pratica*, Jacopo Barozzi da Vignola consacre un chapitre à réfuter l'idée selon laquelle on pourrait construire une perspective à deux points de fuite :

« Par l'opinion partagée de ceux qui ont dessiné en Perspective, on a conclu que toutes les choses apparentes à la vue devaient tendre en un seul point ; mais pourtant, certains ont pensé que, l'homme ayant deux yeux, [la Perspective] devait se terminer en deux points [...] Qui a étudié l'anatomie de la tête peut avoir vu que les deux

nerfs optiques s'unissent ensemble ; semblablement, la chose vue, bien qu'elle entre par deux yeux, s'achève en un seul point au sens commun [...] La vue étant unifiée, on n'en voit qu'une. Pour tant que je me sois exercé à cet Art, je ne trouve pas que l'on puisse opérer rationnellement par plus d'un point² ».

Dans son commentaire, le mathématicien dominicain Egnazio Danti retient le même argument. Les sensations étant fusionnées au chiasma, la perspective n'a qu'un point :

« [Les nerfs optiques] s'unissent ensemble au point H , où les espèces, qui viennent au sens commun, se mélangent ensemble [...] Il s'ensuit que, avec deux yeux, on voit une seule chose et qu'en perspective il n'y a qu'un seul point où l'on y dessine ce que l'on voit d'un regard sans changer de lieu ; et qu'il n'est pas possible d'opérer en cet art avec deux points horizontaux placés sur le même plan [...], et qu'on ne peut donc opérer qu'avec un point principal où se rejoignent toutes les lignes parallèles principales »³.

Cette critique, qui va de soi si on la rapporte aux connaissances optiques et physiologiques du XVI^e siècle, pose toutefois problème : Pourquoi Vignola et Danti consacrent-ils au total plus de 110 lignes à réfuter une construction qu'ils jugent sans fondement ? Cette critique a un statut comparable à celle qu'adresse Alberti à la méthode de réduction dite *superbipartiens*⁴ (*De pictura*, I, 19). Dans un cas comme dans l'autre, le détail et la fermeté de la critique mon-

¹ Université Pierre-Mendès-France, BP 47, 38040 Grenoble cedex 9, dominique.raynaud@upmf-grenoble.fr.

² « Per il commune parere di tutti coloro, che hanno disegnato di Prospettiva, hanno concluso, che tutte le cose apparenti alla vista vadano a terminare in un sol punto ; ma per tanto si sono trouati alcuni, che hanno hauuto parere, che hauendo l'huomo due occhi, si deue terminare in due punti [...] & chi ha veduto l'annotomia della testa, puo insieme hauer ueduto, che li due nerui de gli occhi vanno ad unirsi insieme, & parimente la cosa vista, benche entri per due occhi, va a terminare in un sol punto nel senso commune [...] & stando la vista unita non se ne vede se non una. Ma sia come si voglia, per quanto io mi sia trauagliato in tal' Arte, non so trouare che per piu d'un punto si possa con ragione operare » (1583 : 53).

³ « [I nerui della vista] si congiungono insieme nel punto H , doue le specie, che da gli spiriti visuali sono portate al senso commune, si mescolano insieme [...] ne segue, che con due occhi si vegga una cosa sola, & che nella Prospettiva sia un punto solo, disegnandoci ella quel che si uede in un' occhiata, senza muouersi punto ; & che non sia possibile operare in quest' arte con due punti orizzontali posti nel medesimo piano [...] che non si possa operare se non con un punto principale, al quale vanno tutte le linee parallele principali [...] » (1583 : 54).

⁴ Hic essent nonnulli qui unam ab diuisa aequidistantem lineam intra quadragulum ducerent, spatiumque, quod inter utrasque lineas adsit, in tres partes diuiderent [...] ac deinceps reliquas lineas adderent ut semper sequens inter lineas esset spatium ad antecedens, ut verbo mathematicorum loquar, superbipartiens. Itaque sic illi quidem facerent, quos etsi optimam quandam pingendi viam sequi affirmant, eosdem tamen non parum errare censeo [...] (Alberti, 1992 : 116).

trent que ces condamnations ne sont pas des artifices rhétoriques. Elles visent à écarter des *pratiques hétérodoxes* effectives qui restent aujourd'hui fort mal connues⁵.

Tout ce que l'on sait sur cette perspective hétérodoxe est qu'elle recourt à deux points de fuite situés sur un même horizon [*due punti orizzontali posti nel medesimo piano*]. L'expression *Si sono trouati alcuni...* renvoie à des temps anciens, bien antérieurs à la composition du texte — la première rédaction daterait de 1559 (Roccasecca, 2002 : 367). Cette perspective hétérodoxe aurait donc eu cours au Quattrocento ou bien avant. Nous touchons alors à des modes de représentation antérieurs à la codification perspective, et l'étude de ces « systèmes pré-perspectifs » pose des problèmes spécifiques qu'il ne faut pas négliger :

1° Les peintres de cette période ont utilisé une pléthore de systèmes concurrents. Pour ne citer qu'un exemple, Giotto et son atelier ont utilisé, entre 1296 et 1305, à la basilique supérieure d'Assise, une perspective cavalière pour *La Vision du Trône*, une dimétrie pour *La Fondation des Clarisses*, une perspective cavalière éclatée pour *La Mort du chevalier de Celano*, une perspective centrale pour *L'Apparition à Grégoire IX*, une perspective à deux points pour *Le Prêche à Honorius III*. Cet échantillon montre l'absence de conventions stables de représentation et il ne faut pas s'étonner que des initiatives non coordonnées caractérisent un mouvement artistique en formation. Dans ce contexte, il est tout à fait illusoire de penser l'histoire des techniques pré-perspectives comme une histoire unique. La seule chose que l'on puisse faire est d'isoler des séries de représentations et d'en rendre compte par des explications partielles.

2° L'autre difficulté réside dans l'interprétation des tracés géométriques sous-jacents. S'il est relativement aisé de procéder à des reconstructions *ex post facto*, nous ignorons presque tout du sens accordé au Moyen Âge aux lignes et aux points de construction des pré-perspectives. Les peintres appartenant aux arts mécaniques, ils recevaient, au sein des ateliers, un enseignement oral fort mal documenté⁶. Il faut donc éviter de projeter sur les constructions de

⁵ On connaît des cas de méthode *superbipartiens*. Roccasecca dit à propos d'un dessin de Pisanello que « “Alcuni” pittori dei tempi di Alberti avrebbero completato il metodo descritto [...] Finalmente sappiamo che Pisanello era uno di quei pittori » (1999 : 42).

⁶ Certains, comme Giovanni Pisano, semblent toutefois avoir été instruits en optique. On trouve ainsi, à la fin de l'épigraphe de Pistoia : « *Johannes qui res non egit inanes Nicoli natus sensia meliores beatus quem genuit Pisa doctum super omnia visa* » (mes italiques).

cette époque notre conceptualisation de la perspective⁷. C'est pourquoi nous emploierons ici les termes courants de la perspective (horizon, fuyante, point de fuite, etc.) en les privant de toute fonction *sémantique* : ces termes n'ont ici qu'une fonction d'*indexation* des figures.

L'objet de cet article sera : 1° de réunir un corpus d'oeuvres répondant à la définition de la perspective hétérodoxe décrite par Vignola et Danti ; 2° d'établir que les oeuvres du corpus ne correspondent à aucun type de perspective connu ; 3° de montrer qu'elles résultent d'une application qualitative des principes de la vision binoculaire.

Premier argument : les oeuvres du corpus appellent une explication, car elles utilisent un type de construction régulier et typique sur la période 1295-1450.

Après avoir présélectionné une cinquantaine d'oeuvres répondant approximativement au principe de la construction à deux points de fuite, le corpus a été réduit selon quatre critères : 1° Les oeuvres sortant du cadre géographique et culturel commun à la majorité des oeuvres ont été rejetées⁸ ; 2° Nous avons procédé de même avec les oeuvres étrangères à la période de prédilection de ce système de représentation⁹ ; 3° Toutes les peintures présentant un cadre

⁷ Dans un article peu connu, Andrés de Mesa Gisbert (1989) montre que le terme de « point de fuite » n'a aucun sens dans la peinture du Trecento. Selon lui, les peintres du Moyen Âge n'auraient utilisé aucun point de fuite, mais calculé directement la réduction des intervalles par une méthode de type arithmétique. Ce travail, qui présente l'immense intérêt d'interdire toute surinterprétation des tracés, se heurte toutefois à plusieurs difficultés : 1° les points de fuite tombent presque toujours en des lieux remarquables du décor architectural ; 2° la méthode arithmétique de réduction des grandeurs est plus longue à appliquer que la méthode géométrique ; 3° la méthode arithmétique exige de positionner les intervalles des différentes parallèles par rapport à un même axe vertical, opération sans équivalent dans la méthode géométrique ; 4° les intervalles, mesurés sur des parallèles consécutives, ne sont pas toujours des multiples les uns des autres et sont parfois dans des rapports irrationnels, ce qui interdit de penser que la réduction a été faite par report au compas ou avec une règle graduée. Ce problème d'interprétation affecte aussi la perspective du Quattrocento : on a fait observer que le terme de *costruzione legittima*, communément utilisé pour désigner la méthode d'Alberti, n'a de sens que chez Pietro Accolti en 1625 (Field, 1997).

⁸ Oeuvres rejetées selon le critère géographique : Jan van Eyck, *Portrait des époux Arnolfini* (1434), Jan van Eyck, *Triptyque portatif de Dresde* (1437), Enguerrand Quarron, *Retable Requin* (c. 1450), Jos Amman von Ravensburg, *L'Annonciation* (1451).

⁹ Oeuvres exclues selon le critère historique : Benozzo Gozzoli, *Mort et montée au ciel de saint François* (1452), Giovanni Bellini, *Le Couronnement de la Vierge* (1471-1474), Benozzo Gozzoli, *Joaquim chassé du temple* (1491), Leonardo da Vinci, *La Cène* (1495-97). Il a paru préférable de ramener le corpus à un contexte géo-historique défini, permettant de supposer une diffusion de ce système de représentation (l'hypothèse eût été inadmissible si le corpus

architectural trop succinct pour reconnaître les principes de construction mis en oeuvre ont été retirées¹⁰ ; 4° Enfin, les tableaux montrant des erreurs de construction importantes ont été supprimés¹¹. Au total, nous avons conservé trente oeuvres, issues d'Italie centrale, datant de la période 1295-1450, présentant un cadre architectural autorisant la restitution du géométral à partir de la vue perspective. Cet article étant axé sur l'analyse des tracés perspectifs, nous nous sommes dispensés de toute discussion des problèmes de datation et d'attribution, en retenant, à titre indicatif, les hypothèses de certains spécialistes (Annexe 1, Planches 1-30).

Du point de vue de la distribution géographique, les oeuvres se répartissent sur un grand arc Assise-Florence-Padoue qui réunit plus des deux tiers du corpus. L'étude de la distribution temporelle montre que, après une période de prédilection (1295-1320), ce système pré-perspectif a subi plusieurs érosions ; la première, vers 1350, semble liée à la période de « la grande crise » qui a entraîné un ralentissement général des activités artistiques ; la seconde, vers 1450, semble due à la diffusion des nouvelles techniques perspectives et à l'inertie relative à l'application du traité d'Alberti, publié en 1435-1436.

Quant au choix de limiter le corpus à trente oeuvres antérieures à 1450, il provient d'une observation fort simple : il n'existe pas, à cette date, un nombre équivalent d'oeuvres qui respectent les règles de la perspective linéaire. Si *La Flagellation* de Piero della Francesca est d'une construction irréprochable, *La Trinité* de Masaccio, *Le Banquet d'Hérode* de Donatello, les panneaux *Isaac et Joseph* de Ghiberti ou *La Profanation de l'Hostie* d'Uccello sont inexacts (notamment parce que la réduction des fronto-horizontales occasionne un point de distance très éloigné de la ligne d'horizon). La perspective linéaire ne constituant pas un système de représentation dominant, la construction à deux points n'est pas un mode de représentation mineur ou

avait été plus largement dispersé dans l'espace et le temps). Par exemple, Giotto a travaillé au Palazzo della Ragione de Padoue, où l'on retrouve quelques années plus tard Giusto de' Menabuoi, qui utilise également la construction à deux points (Planche 19).

¹⁰ Oeuvres rejetées : Maître des Anges rebelles, *Chute des Anges rebelles* (c. 1340), Bartolo di Fredi, *Présentation au Temple* (c. 1365), Giusto de' Menabuoi, *Annonciation* (1374-78), Giusto de' Menabuoi, *Sainte assise* (c. 1380), Gentile da Fabriano, *Vierge à l'enfant* (c. 1420), Fra' Angelico, *La Naissance de saint Nicolas* (1437), Paolo Uccello, *Le Déluge* (1446), Fra' Angelico, *L'Ordination de saint Laurent par saint Sixte* (1447-49).

¹¹ Oeuvres rejetées : Giotto, *L'Approbation de la règle franciscaine* (1301-02), Giotto, *Les Noces de Cana* (1304-06), Duccio di Buoninsegna, *Le Congé des Apôtres* (1308-11), Ambrogio Lorenzetti, *Saint Nicolas* (1327-1332), Maso di Banco, *Le Miracle du taureau* (1340), Altichiero, *Saint Georges baptisant le Roi* (1373-79), Giusto de' Menabuoi, *Le Dragon*

occasionnel. C'est pourquoi ce type de construction, régulier et typique sur toute la période 1295-1450, appelle une explication.

Deuxième argument : les oeuvres du corpus ne rentrent pas dans la classe des projections dans lesquelles le spectateur est situé à l'infini, car les droites de bout sont rendues par des fuyantes.

Présentons tout d'abord une classification des différents types de représentation issue de l'analyse critique de dix ouvrages de référence (Ludi, 1989 : 138-139, fig. 1).

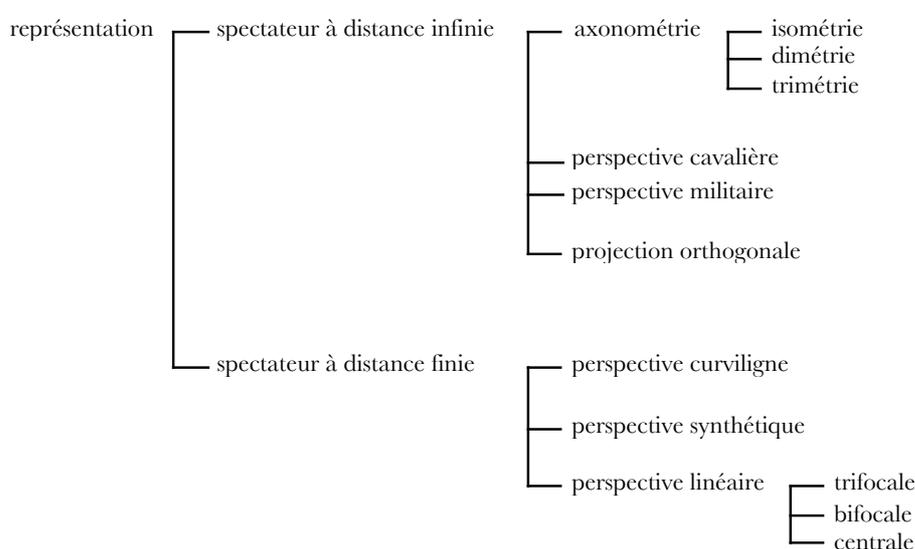


Figure 1 : Classification des systèmes de représentation

Les axonométries (isométrie, dimétrie, trimétrie) de même que différentes représentations conventionnelles, comme les projections orthogonales, les perspectives cavalières et les perspectives militaires, sont toutes caractérisées par le fait que le spectateur est situé à l'infini. La projection possède alors une propriété importante : deux droites-objets parallèles sont rendues par deux droites-images parallèles. L'examen des oeuvres du corpus (Planches 1-30) montre que cette propriété n'est pas respectée. Les droites de bout — les orthogonales, selon la terminologie anglicisante — du cadre architectural sont rendues par des droites-images qui concourent toujours en deux points de fuite. Le parallélisme n'étant pas conservé, ces oeuvres présupposent une distance finie entre le spectateur et le tableau.

Troisième argument : les oeuvres du corpus n'étant ni des perspectives curvilignes, ni des perspectives synthétiques, elles s'approchent du type de la perspective linéaire.

Examinons le cas de la perspective curviligne. Les grandeurs apparentes d'un objet y sont mesurées sur une sphère. Les rayons visuels liant les différents points-objets a, b, c, \dots à l'œil du spectateur S interceptent les points-images correspondants a', b', c', \dots du plan tangent à la sphère. Dans le cadre d'une projection stéréographique, le centre de projection S est l'antipode du point de tangence. La représentation est une perspective curviligne dans laquelle tout segment de droite est rendu par un arc de cercle, dont la longueur est proportionnelle à l'angle visuel qui l'intercepte (Flocon et Barre, 1968). La même propriété vaut si l'on fait une projection orthographique, dont le centre de projection est rejeté à l'infini. Tous les tracés obtenus sur le plan tangent à la sphère satisfont — hors de la projection gnomonique, qui correspond au cas de la perspective linéaire — à une propriété commune : les droites sont rendues par des arcs curvilignes. Cette condition n'étant pas satisfaite sur le corpus (Planches 1-30), les oeuvres étudiées échappent à cette classe de représentations¹².

Étudions le cas de la perspective synthétique. Certains historiens de l'art (Panofsky, 1924, Bunim, 1940, White, 1957) se sont attachés à décrire certaines oeuvres qui présentent une convergence approximative des fuyantes — nommées « constructions axiales » — comme un mixte de perspective linéaire et de perspective curviligne. John White (1957) a donné à cette construction le nom de perspective synthétique de manière à la différencier du cas de la perspective curviligne. Dans ce système, les mesures de l'objet, prises sur un cercle de projection, sont ensuite reportées sur un tableau plan, selon la construction suivante (fig. 2).

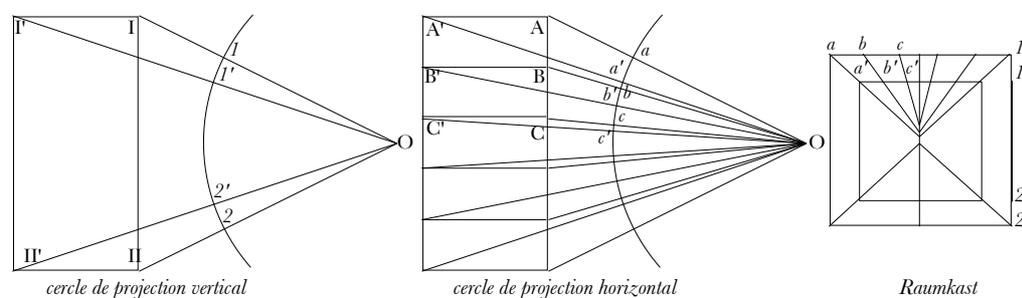


Figure 2 : Construction de la perspective synthétique

¹² Si l'on excepte quelques mentions antérieures, obscures ou controversées, la perspective curviligne n'a réellement été développée qu'au XIXe siècle (William Herdman, *A Treatise on the curvilinear perspective of Nature*, 1853; Guido Hauck, *Die subjective Perspektive*, 1879).

Dans une représentation de ce type, on peut démontrer que trois fuyantes quelconques prises d'un même côté du tableau (aa' , bb' , cc') n'admettent pas un unique point de concours (Raynaud, soumis). Cette impossibilité interdit par conséquent de reconnaître dans les oeuvres du corpus une application de la perspective synthétique, puisque, dans tous les cas, les fuyantes convergent vers deux points de fuite identifiables (Planches 1-30).

Comme il n'existe que trois types de projection où la distance du point de vue au tableau est finie (perspective curviligne, synthétique, linéaire), les oeuvres étudiées répondent au type de la perspective linéaire.

Quatrième argument : les oeuvres du corpus ne satisfaisant pas aux règles de la perspective linéaire à deux ou à trois points de fuite, elles s'approchent du type de la perspective centrale.

Supposons que les oeuvres examinées répondent au principes de la perspective linéaire à trois points de fuite. Dans ce cas, les droites qui représentent les verticales de l'objet devraient converger vers un point de fuite situé en dessous de l'horizon (plongée) ou en dessus de l'horizon (contre-plongée). Cette hypothèse est immédiatement réfutée par un examen des oeuvres du corpus : les fronto-verticales de l'objet sont toujours restituées par des parallèles verticales (Planches 1-30). Les oeuvres sont étrangères à cette classe de représentations.

Supposons que les oeuvres soient des perspectives linéaires bifocales. Alessandro Parronchi (1964, 1974) a soutenu que la perspective bifocale résultait d'une application des principes de la vision binoculaire à la représentation, ce qui rendrait compte du passage des *Due regole della prospettiva pratica* dans lequel il est fait mention d'un système à deux points de fuite en relation avec le fait que l'homme a deux yeux. Cette thèse est sans fondement. En effet, les deux points d'une perspective bifocale résultent simplement de ce que les arêtes de l'objet sont placées obliquement par rapport au tableau, et ce système ne déroge nullement aux règles de la perspective linéaire classique : les deux points de fuite apparaissent lorsque le spectateur regarde la scène d'un seul oeil¹³ (fig. 3).

¹³ L'hypothèse selon laquelle il aurait existé des perspectives inspirées par les principes de la vision binoculaire apparaît ici, mais d'une façon radicalement différente de celle qui sera envisagée dans la suite de l'article. La relation conçue entre la perspective bifocale et les conditions de binocularité est sans fondement quoiqu'elle ait

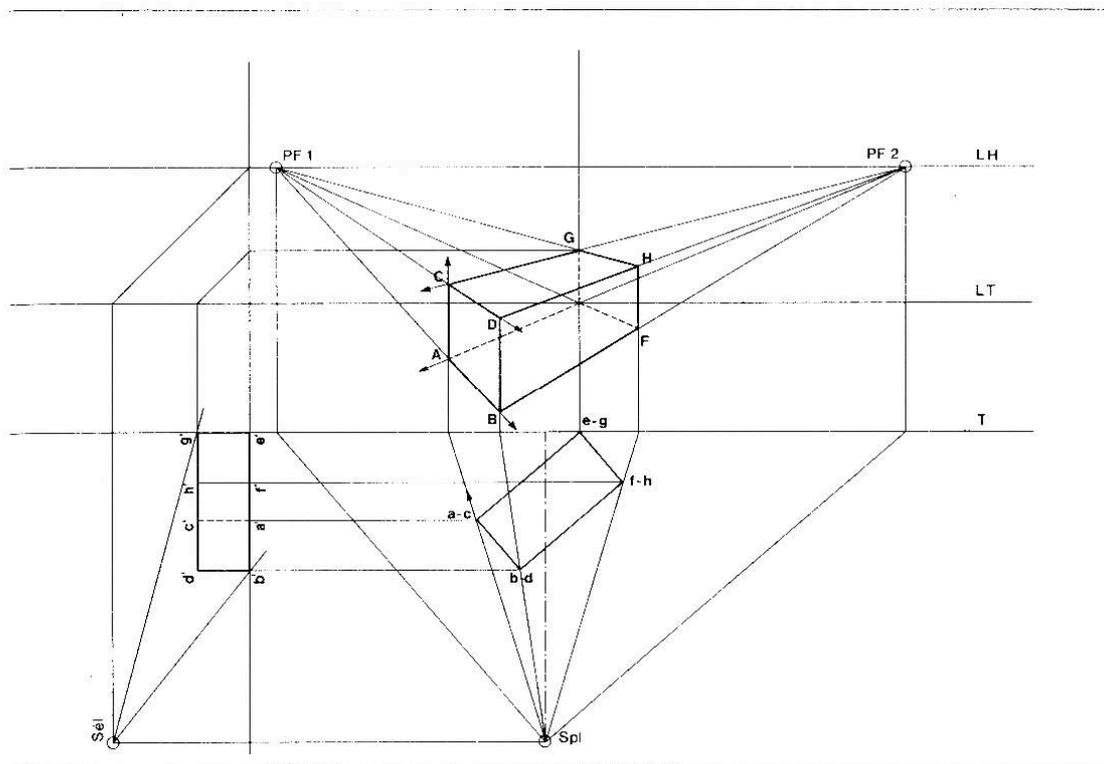


Figure 3 : Construction d'une perspective bifocale

En outre, la reconstruction des plans géométraux conjugués aux vues perspectives¹⁴ selon l'hypothèse de la perspective bifocale conduit à des espaces aberrants. Comparé au plan typique de Santo Zanipolo à Venise, le plan de l'église des *Infirmes au tombeau de Saint Nicolas* de Gentile da Fabriano (Planche 27), engendre trois difficultés principales (fig. 4).

été régulièrement avancée par Parronchi qui parle ainsi, dix ans après sa publication majeure (Parronchi, 1964) des « deux points de distance tirés du schéma de la vision binoculaire » (1974 : 215). Il n'existe aucun rapport entre vision binoculaire et perspective bifocale : la vision binoculaire produit la diplopie, c'est-à-dire l'apparition de deux quasi-images non correspondantes qui ne peuvent pas expliquer l'apparition des points de fuite latéraux. L'historien de l'art accorde par ailleurs un rôle central au déplacement horizontal des yeux, lequel appuierait la mise en place de la perspective bifocale, parce que les yeux peuvent regarder dans des directions différentes (1974 : 216). Cet argument n'explique pas que des arêtes obliques par rapport au tableau convergent en deux points de fuite secondaires.

¹⁴ On peut, en fixant certains paramètres, suivre les règles de la perspective linéaire pour restituer les plans géométraux à partir de la vue perspective. C'est par exemple la méthode suivie par Giovanni degl' Innocenti (1983) pour étudier l'espace figuré dans certaines oeuvres de Leonardo da Vinci.

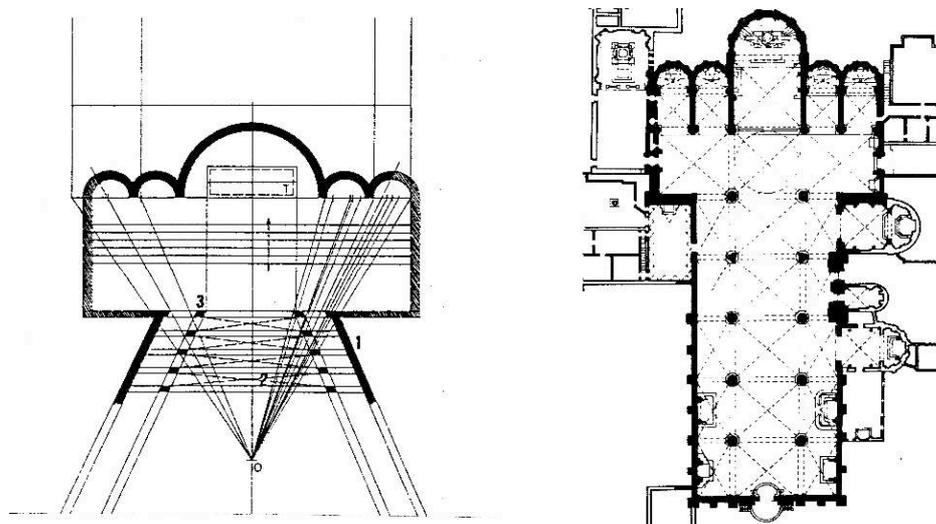


Figure 4 : Plan de l'église des Infirmes au tombeau de Saint Nicolas restitué selon le modèle de la perspective bifocale (A) ; Plan de l'église Santo Zanipolo de Venise (B)

Primo, comme les murs latéraux de la nef ne sont pas parallèles entre eux, les arcs doubleaux des voûtes d'arêtes ont une portée rapidement supérieure aux dimensions admissibles dans les techniques de l'architecture gothique. De plus, il n'existe que deux élévations possibles répondant à ce plan. Soit le profil de l'arc doubleau se modifie selon la progression des plans perpendiculaires à l'axe de la nef, auquel cas on doit utiliser des arcs en anse de panier qui ne sont pas attestés à l'époque médiévale ; soit le profil de l'arc doubleau reste le même, mais les voûtes d'arêtes sont de plus en plus hautes à mesure que l'on s'approche du portail, solution qui n'est pas documentée. *Secundo*, les voûtes d'arêtes sont plus larges que profondes, ce qui paraît contradictoire avec la destination de tout plan de couverture, qui est d'utiliser le moins d'appuis possibles pour couvrir l'espace le plus vaste. Même lorsque les voûtes d'arêtes sont sur un plan barlong, la largeur et la profondeur ont le même ordre de grandeur. *Tertio*, les dés supportant les colonnes de la nef sont rhomboïdaux, hypothèse qui n'est pas davantage attestée dans les modèles de l'architecture gothique. Ces aberrations montrent que le tableau de Gentile da Fabriano n'est pas une perspective linéaire bifocale : le géométral de l'église figurée des *Infirmes au tombeau de Saint Nicolas* devrait se conformer au modèle basilical. Cette hypothèse de reconstruction occasionne les mêmes difficultés sur la plupart des oeuvres. Mentionnons seulement les problèmes les plus fréquents : les cathédres gothiques ont un plan rectangulaire, non trapézoïdal (Planches 5, 6, 13, 15, 17, 18, 19, 22) ; on ne connaît pas d'exemples d'architecture gothique dans lesquels les plafonds (Planches 7, 9, 12, 23, 29) ou les

sols (Planches 10, 14) sont composés de caissons ou de carreaux qui auraient une forme de losanges ou de trapèzes.

Comme il n'existe que trois types connus de perspective linéaire (perspective trifocale, bifocale, centrale), les oeuvres du corpus répondent au type de la perspective centrale.

Cinquième argument : les oeuvres du corpus ne sont pas des perspectives centrales classiques, parce que la distance entre les deux points de fuite est très supérieure à l'erreur de reconstruction.

L'hypothèse la plus économique pour ramener les oeuvres du corpus dans le cadre de la perspective centrale est de supposer que les deux points de fuite observés résultent du dédoublement accidentel d'un point de fuite unique. On peut calculer ces erreurs de construction selon diverses méthodes (Raynaud, 1998a, 2003b). Soit la portion visible AB d'une fuyante qui doit être menée jusqu'au point de fuite F . Selon la première approximation de l'erreur, en traçant un trait d'épaisseur e , je peux orienter la fuyante à volonté pourvu qu'elle recouvre la totalité du segment AB visible. Lorsque la déviation est maximale, c'est-à-dire si A et B sont situés sur des côtés opposés du trait, le point de fuite ne tombe pas en F mais en D . Appelons α l'erreur angulaire, et $\varepsilon = FD$ l'erreur métrique au niveau du point de fuite. On a les relations :

$$\alpha = \pm \arctan (e/AB) \qquad \varepsilon = \pm e AF/AB$$

On calcule l'erreur métrique affectant la reconstruction du point de fuite situé à gauche, puis celle affectant la reconstruction du point de fuite situé à droite. La plus importante des deux est nommée « erreur métrique maximale ». On détermine ensuite si la distance entre les deux points de fuite FF' entre dans l'intervalle d'erreur. Si le rapport FF'/ε_{max} est inférieur à l'unité, on peut considérer que le dédoublement du point de fuite est accidentel. Si ce rapport est supérieur à l'unité, les deux points de fuite ne résultent pas d'une erreur de construction. Ces valeurs ont été calculées pour chacune des œuvres (Annexe 2). Il apparaît que la distance entre les points de fuite FF' est toujours supérieure à l'erreur métrique maximale (48 fois plus importante en moyenne), ce qui ne permet pas de faire converger les fuyantes en un point de fuite unique.

L'objection suivant laquelle les fuyantes ne devraient pas être prolongées au-delà de l'axe de fuite des constructions axiales (de Mesa Gisbert, 1989) n'est pas en mesure d'expliquer pourquoi ces deux points tombent toujours en des lieux remarquables de la composition. Ils apparaissent à la limite de la fresque (Planches 2, 6), à l'arête d'un pilastre ou d'une baie (Planches 1, 12, 20, 25, 26, 28), aux jointures des panneaux d'une cathèdre (Planches 5, 13, 15), à un pli de la tenture (Planche 14), sur la main (Planches 3, 18, 23) ou sur l'oeil (Planche 24). L'examen détaillé du *Saint sur le trône* de Giusto de' Menabuoi (Planche 19) montre par exemple que les deux points de fuite coïncident avec le coeur des marguerites sculptées sur le panneau de fond de la cathèdre. On doit donc admettre que les peintres ont utilisés ces points de construction, même si — nous en sommes d'accord avec de Mesa Gisbert (1989) — le *concept* de point de fuite, dû à Guidobaldo del Monte (*Perspectivae libre sex*, 1600), ne peut être appliqué aux oeuvres du Trecento.

Il faudra donc expliquer les oeuvres du corpus en les rapportant à un type nouveau de perspective centrale qui autoriserait la présence de deux points de fuite centraux.

Sixième argument : les oeuvres du corpus ne sont pas une application de la perspective linéaire centrale parce que celle-ci impose la vision monoculaire, responsable de l'unicité du point de fuite.

Quelle condition de réalisation d'une perspective linéaire centrale faut-il changer pour autoriser l'apparition de deux points de fuite dans un tableau ? Revenons tout d'abord sur les conventions adoptées à la Renaissance pour construire une perspective. Ces présupposés ont été exposés par la plupart des historiens de la perspective. Erwin Panofsky observe que, pour construire une perspective, il faut considérer « d'abord, que notre vision est le fait d'un *oeil unique* [...] » (1924 : 42). Gioseffi (1957 : 8) rappelle que la vision *monoculaire* est la condition garantissant l'unité du système perspectif. Dans un exposé sur l'histoire de la perspective, Roger Laurent explicite ce point : « Les deux yeux de la vision binoculaire sont réduits en *un seul* (vision monoculaire) appelé oeil et placé au sommet du cône visuel » (1987 : 37). La tablette perspective de Brunelleschi impose cette condition : « Il dipintore bisogna che presuponga un *luogo solo* d'onde s'a a uedere la sua dipintura [...] Egli aueua fatto un buco nella tauoletta [...] » (Manetti, 1927). Il en va de même de son prototype contenu dans le *De visu* de Grazia

de' Castellani : « E tu ponj un *solo occhio* al punto .c. doue è uno picholo bucho [...] » (Arrighi, 1967 : 47, Camerota, 1998, mes italiques). Le point de fuite étant la projection orthogonale de l'œil sur le tableau, le postulat de la vision monoculaire conditionne l'unicité du point de fuite de la perspective linéaire centrale. Et, de fait, la vision binoculaire est en mesure d'expliquer pourquoi la perspective hétérodoxe, dont parle Vignola, est une perspective à deux points. Dans une « perspective linéaire centrale binoculaire », si le point de fixation des yeux O et O' n'est pas situé à l'infini, les deux quasi-images sont disparates et les fuyantes correspondant aux droites de bout de l'objet admettent deux points de fuite situés sur une même horizontale. Telle est la disposition décrite par Vignola ; telle est la disposition que l'on observe dans les oeuvres du corpus.

En outre, il faut observer que cette condition de monocularité — banale dans le système renaissant — est une simple convention *pratique* de dessin, parfaitement étrangère au corpus de l'optique *théorique*¹⁵. Si l'on retient que les premiers perspectivistes ont été initiés à l'optique — comme on le sait dans le cas de Giovanni Pisano et dans un cadre plus général (Bergdolt, 1989, Baggio, 1994, Cecchini, 1998) —, on comprend qu'ils n'aient pas directement cherché à mettre en oeuvre un système monoculaire : il leur était pratiquement impossible de s'émanciper des principes de la vision binoculaire qui sont exposés dans les traités d'optique du Moyen Âge.

Septième argument : les oeuvres du corpus dépendent des principes de la vision binoculaire car la fixation d'un visible proche occasionne la disparité des quasi-images de l'arrière-plan.

Une question importante de l'optique médiévale est celle des conditions sous lesquelles s'opère la fusion des quasi-images produites par les deux yeux (Raynaud, 2003a). Est-il possible d'en déduire un système de représentation de l'espace s'approchant du modèle de la perspective binoculaire ? Les principaux traités d'optique du Moyen Âge latin ne sont, sur ce point, qu'un développement de l'optique arabe — elle-même largement tributaire des recher-

¹⁵ Elle n'apparaît que très rarement dans les traités d'optique médiévale : « Si *monoculus* aspiciat aliquem parietem magnum et quantitatem eius certificet deinde oculo suo manum anteponat, ipsa manus uidebitur sub eodem angulo uel sub maiori quam paries uisus est, nec tamen tanta ei apparebit quantus paries apparet quai

ches de Ptolémée¹⁶ sur la vision binoculaire (Lejeune, 1958, 1989). Dans l'examen des conditions sous lesquelles les yeux forment des images doubles, deux textes méritent d'être cités. Le premier permet de distinguer entre diplopie pathologique et diplopie physiologique ; le second, d'étudier expérimentalement les différents cas de diplopie physiologique.

Dans le premier texte, *Livre des causes de la diversité des perspectives dans les miroirs*, Qustâ Ibn Lûqâ (820-912) se demande :

« Par quelle cause une même chose est-elle vue deux ou plus ? et de combien de manières ceci est-il possible ? Nous avons dit précédemment que le sens visuel perçoit les visibles si le rayon visuel tombe sur eux. Le visible sera vu unique si un seul rayon tombe sur lui ; si deux rayons visuels tombent sur lui, il sera vu double [...] S'il advient que les deux cônes émergeant des deux yeux se séparent, pour que tombe sur le même visible un cône radiant de chacun des deux yeux, alors la même chose sera vue double. » (Rashed, 1997 : 584).

Ibn Lûqâ construit alors une classification des causes, naturelles et artificielles, produisant la séparation des cônes visuels (et donc la diplopie). Parmi les causes naturelles, Qustâ mentionne le strabisme. Parmi les causes artificielles, il mentionne la vision de deux objets situés à des distances différentes :

« Il se peut qu'une seule chose soit vue deux [...] lorsque l'homme fixe par sa pupille une chose proche et une autre chose dans la direction de celle qu'il a fixée et qui est plus loin de l'oeil qu'elle ; c'est alors qu'il voit une même chose deux. En effet, quand il regarde la plus proche et la fixe, l'un des deux rayons s'incline par rapport à l'autre et ainsi deux rayons tombent sur le visible le plus éloigné ; il voit donc deux choses » (Rashed, 1997 : 586).

Le fait qu'une cause normale de diplopie soit nommée « cause artificielle » et que, parmi les causes artificielles, certaines soient d'origine pathologique (strabisme) ou accidentelle (pres-

minus distat » (Pecham, *Perspectiva communis*, I, 74, mes italiques).

¹⁶ Les travaux de Ptolémée doivent être laissés de côté pour deux raisons : 1° Ptolémée décrit l'instrument qui lui permet d'expérimenter sur la vision binoculaire d'une façon moins précise que son successeur Ibn al-Haytham, dont le texte seul permet de reproduire fidèlement les expériences et de comprendre le sens exact de ses résultats ; 2° Ptolémée tire parfois des conclusions fausses, comme en atteste la critique suivante : « [Ptolémée dit...] que si le regard fixe l'objet au milieu de la tablette, au point d'intersection des deux diamètres, alors les deux lignes ou diamètres représentant les axes visuels seront vus comme une seule ligne coïncidant avec l'axe commun [...] Ceci est une erreur [...] » (Ibn al-Haytham, *al-Shukûk a'lâ Baḡlamyûs*, cité par Sabra, 1989, II : 125). Ces corrections, passées au Moyen Âge latin, signifient que les opticiens du Moyen Âge latin (Bacon, Pecham, Witelo) ont

sion exercée sur le globe oculaire) peut être une source des confusions. Ibn Lûqâ établit pourtant que la diplopie apparaît tantôt sous des conditions anormales, tantôt sous des conditions normales. La disparité des images, qui résulte de l'observation d'objets situés à des distances différentes, ne suppose aucun trouble de l'appareil visuel : c'est la *diplopie physiologique*. Elle est normale et il serait erroné de faire intervenir la théorie de la neutralisation pour expliquer l'unification des sensations visuelles¹⁷.

Dans un chapitre précédant l'examen des « erreurs de vision¹⁸ », Ibn al-Haytham s'inspire directement des recherches de Ptolémée (Lejeune, 1989 : 109) et donne aux observations de Qustâ ibn Lûqâ une plus grande rigueur. Il propose une étude expérimentale des conditions de fusion des quasi-images produites dans le cadre de la vision binoculaire. À l'aide de ce dispositif expérimental — et sans posséder le concept keplérien d'« image rétinienne »¹⁹ —

suiwi la *Perspectiva* d'Ibn al-Haytham et non l'optique de Ptolémée.

¹⁷ Les expériences de Ptolémée ou d'Ibn al-Haytham sont parfois accompagnées de commentaires déroutants.

Simon écrit par exemple : « Dans le strabisme, le plus souvent l'un des yeux joue un rôle directeur qui annule pratiquement l'apport de l'autre ; mais la paralysie d'un muscle oculomoteur, ou plus simplement une pression sur l'un des globes oculaires, rend sensible l'indépendance des deux images rétiniennes et provoque le dédoublement de la vision ou *diplopie* » (1988 : 131-132). Cette lecture — qui ne fait pas de distinction entre diplopie physiologique et diplopie pathologique — fait de la diplopie un phénomène anormal, ce qu'elle n'est pas toujours.

¹⁸ Il serait préférable de traduire le terme *deceptiones uisus* par « illusions visuelles », en ce sens que la diplopie produit deux images d'un objet dont l'unicité est certifiée par les autres sens. Ibn al-Haytham écrit *aghlât al-basar*, qui a même racine qu'erreur (*ghaliṭa* : *errare/decipi*), mais emploie parfois *ihâm* (*illusio*). Le caractère problématique du rattachement de la diplopie physiologique aux erreurs de vision sera vu par Roger Bacon qui, lorsqu'il expose les causes d'erreur de vision, ne mentionne plus que le strabisme, le froid et le chaud, la passion, le dérangement nerveux, les troubles de l'humeur vitrée, la compression du globe oculaire, l'obstruction du cristallin et la double pupille (*Perspectiva*, II, I, 3). La fixation d'objets à des distances différentes apparaît ailleurs. Le passage étudiant la diplopie physiologique sera d'ailleurs simplement intitulé : « In quo ostenditur duobus diuersis experimentis et diuersis figurationibus, quomodo unum uideatur duo » (*Perspectiva*, II, II, 2). Quant à Pecham, qui suit Bacon, il ne rattache plus du tout la diplopie à l'examen des erreurs de vision (*Perspectiva communis*, I, 80). Cette érosion est importante pour saisir l'application de ces textes à la représentation picturale.

¹⁹ On prendra garde de ne pas assimiler l'image rétinienne à une « image stigmatique ». À l'instar de tout système optique centré, l'oeil échappe aux conditions de stigmatisme rigoureux. L'équation d'écart à l'optique de Gauss, qui s'écrit comme une somme de six facteurs complexes, caractérise les différents types d'aberration géométrique (aberration de sphéricité, astigmatisme, coma, courbure de champ, distorsion). Ces aberrations (principalement l'aberration de sphéricité et l'astigmatisme) altèrent l'image produite par l'oeil. Il suffit d'ailleurs de fixer un objet en direction principale pour remarquer qu'un objet, vu en vision périphérique, n'est pas net :

l'auteur distingue néanmoins les deux cas de diplopie, donne une construction admissible de l'horoptère plan et prépare la découverte de l'aire de Panum (Raynaud, 2003a).

Il explique tout d'abord (*De aspectibus*, III, II, 12) comment fabriquer l'instrument. Il s'agit d'une tablette de bois léger ($abcd$), longue d'une coudée (45 cm) et large de quatre doigts (6 ou 7 cm). Un des petits côtés de la tablette est excavé en son milieu (mn) de manière à y passer le nez. Les axes (hz , kt) et les diamètres (ad , bc) sont peints de couleurs différentes²⁰ (fig. 6). Ibn al-Haytham confectionne ensuite trois colonnettes de cire de couleurs différentes qu'il dispose en divers lieux remarquables de la tablette.

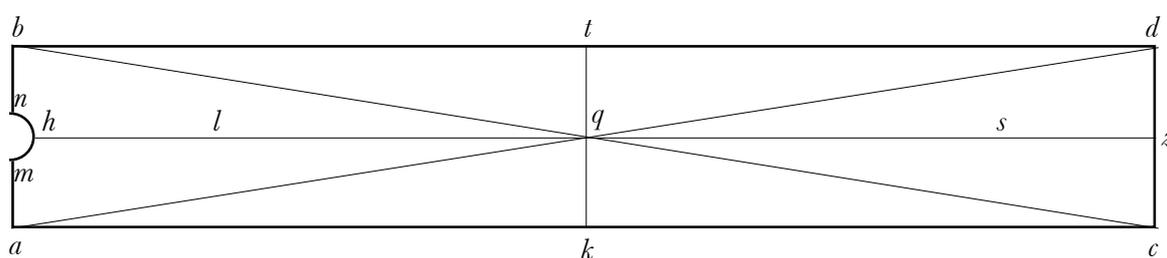


Figure 6 : Tablette expérimentale d'Ibn al-Haytham sur la vision binoculaire

Dans la troisième expérience, relative aux conditions d'apparition de la diplopie, il fixe les trois colonnes en l , q , s . Lorsque les yeux a b fixent la colonne q , les colonnes l s sont vues doubles. C'est donc que « La chose visible sur laquelle concourent les axes visuels est vue une [...] et la chose visible qui est appréhendée par des rayons placés différemment de côté est vue

l'image rétinienne ne répond donc au stigmatisme approché que sous les conditions de Gauss.

²⁰ « Accipiatur tabula levis ligni, cuius longitudo sit unius cubiti, et cuius latitudo sit quatuor digitorum, et sit bene plana et aequalis et laevis, et sint fines suae longitudinis aequidistantes, et suae latitudines aequidistantes, et sint in ipsa duae diametri se secantes, ab quarum loco sectionis extrahatur linea recta aequidistans duobus finibus longitudinis. Et extrahatur etiam ab loco sectionis linea recta perpendicularis super lineam primam positam in medio, et intingantur istae lineae tincturis lucidis diuersorum colorum, ut bene appareant, sed tamen duae diametri sint unius coloris. Et fiat cauatura in medio latitudinis tabulae, apud extremum lineae rectae positae in medio, et inter duas diametros concauitate rotunda, et quasi pyramidaliter, sic ut possit intrare cornu nasi, quando tabula superponetur ei, quousquem tangant duo anguli tabulae fere duo media superficierum duorum uisuum, quamuis non tangent. » (*Optica liber*, III, II, 12). Roger Bacon accorde peu d'importance à la longueur de la planchette, qui peut être de quatre, cinq ou six palmes : « Nam hoc potest experimentator probare, accipiendo unum asserem latitudinis unius palmae, et longitudinis quatuor, uel quinque, uel sex, et sit superficies ejus laevis » (*Perspectiva*, II, II, 2). Soulignons que la diplopie physiologique opère à des distances plus importantes (de l'ordre de 30 mètres).

double²¹ ». Selon la terminologie actuelle, le dédoublement de s , situé au-delà du point de fixation, occasionne la *diplopie homonyme* ; le dédoublement de l , situé en deçà du point de fixation, la *diplopie croisée* (Saraux et Biais, 1983 : 391).

Du fait que la diplopie physiologique opère sous des conditions de vision normales et à des distances moyennes, les expériences d'Ibn al-Haytham sont applicables au problème de la représentation. Or, qu'observe-t-on ? Les scènes qui répondent au cas de la perspective hétérodoxe à deux points se composent toujours d'un personnage central situé au *premier plan* et d'un cadre architectural dont l'essentiel est situé à l'*arrière-plan*. Cette organisation de l'espace est propice à la vision diplopie. En effet, dans ces conditions, les yeux doivent choisir l'objet sur lequel opérer la fixation. Comme la fixation se fait ordinairement sur le personnage important du premier plan, elle occasionne deux images disparates du cadre architectural, conformément au cas de la diplopie homonyme. Le cadre architectural étant formé d'arêtes rectilignes, ces droites doivent apparaître dédoublées et doivent converger en deux points de fuite. C'est ce que prouve l'expérience. Si l'on place sur le petit côté dc de la tablette une feuille sur laquelle on a dessiné le point de fuite F , à la verticale du point z , et quelques fuyantes, et que l'on fixe la colonnette q , le faisceau des fuyantes et le point de fuite sont vus doubles²².

²¹ « Ex hac igitur experimentatione et expositione declaratur bene quod uisum, in quo concurrunt duo axes, semper uidetur unum [...] et quod uisum, quod comprehenditur per radios diuersae positionis in parte, uidetur duo » (*Optica liber*, III, II, 14). L'exposé de Bacon est plus direct : « Nam si oculorum A et B axes figantur diligenti intentione in O partem uisibilis MON , tunc uisibile K infra concursum axium uidebitur duo, et H uisibile ultra concursum similiter uidebitur duo necessario » (*Perspectiva*, II, II, 2).

²² Selon Ibn al-Haytham, si l'objet est perçu dans des directions similaires par les deux yeux (exactement ou approximativement) il est vu simple ; dans le cas contraire, l'objet est vu double ou indistinct (Ibn al-Haytham, 1989, I : 239). Ces résultats frappent par leur clarté. L'optique physiologique moderne ne reconnaît de *fusion* que si les quasi-images se projettent dans l'aire de Panum (c'est-à-dire si elles sont exactement ou approximativement correspondantes). Au-delà, soit la disparité est faible et il y a *intégration* des sensations visuelles (stéréopsie), soit la disparité est forte et il y a diplopie, qui se décline d'ailleurs dans une phénoménologie complexe : *diplopie homotopique* (superposition de deux images nettes disparates), *rivalité rétinienne* (images disparates vues en alternance, à un rythme de 2 à 3 cycles par seconde), *suppression* (effacement partiel d'une quasi-image au profit de l'autre), ou *neutralisation* (suppression totale d'une des deux images) (Saraux et Biais, 1983 : 393-394). Je me sépare ici de Simon qui écrit des expériences binoculaires de Ptolémée : « Ces dédoublements, qui devraient gêner beaucoup la vision périphérique, nous échappent en général : nous ne percevons souvent que l'une des deux images non fusionnées, l'autre est neutralisée » (1988 : 131-132). La neutralisation ne permet pas d'expliquer la vision bino-

Huitième argument : les oeuvres du corpus sont une application qualitative des principes de la vision binoculaire : la restitution des géométraux produit des espaces conformes aux modèles architecturaux contemporains.

Il est improbable que les peintres du Duecento et du Trecento aient suivi une méthode de projection géométrique pour tracer des perspectives exactes. Néanmoins, il peut être utile de construire les géométraux correspondants aux vues perspectives du corpus pour vérifier la cohérence des espaces représentés. Cette reconstruction, qui s'opère généralement sous les clauses de la vision monoculaire, peut être étendue au cas de la vision binoculaire. La procédure utilisée est inverse de celle, habituelle, qui consiste à construire une perspective à partir des géométraux. La seule difficulté consiste à établir une relation entre les grandeurs frontales et les grandeurs de bout (il peut s'agir de dalles ou de caissons carrés, de figures homothétiques dans le plan frontal et le plan de bout, ou de n'importe quel élément architectural aux formes convenues). Une fois cette relation établie, on détermine la position des yeux O et O' . C'est ainsi qu'on associe aux vues perspectives (Planches 1-30) les plans géométraux correspondants (Planches 1R-30R). On calcule ensuite l'échelle du géométral en fonction de la position et de la taille d'un personnage (la hauteur de la tête, par exemple) et on mesure l'écartement des yeux OO' . L'application de cette méthode aux oeuvres du corpus conduit à deux résultats principaux :

1) la distance entre les deux yeux a été constamment surestimée par les peintres : elle varie de 12 à 440 cm avec une moyenne de 128 cm (cf. Planches 30R, 21R). Cela confirme que les peintres du Trecento dessinaient directement dans le plan du tableau, sans nullement faire usage du géométral²³.

culaire parce que : 1) *Stricto sensu*, la neutralisation fait de tout homme un borgne, ce qui annule, et le phénomène à expliquer, et certaines de ses conséquences aisément vérifiables comme la perception du relief ; l'optique physiologique n'utilise d'ailleurs le terme de neutralisation que dans les cas de diplopie pathologique (strabisme) ; 2) *Lato sensu*, c'est-à-dire si l'on confond neutralisation, suppression et rivalité rétinienne, la neutralisation n'apparaît que des cas bien définis (par exemple, dans l'expérience des disques noirs ou dans celle des grilles horizontales et verticales). Legrand, qui examine l'hypothèse de la neutralisation permanente d'une des deux images rétinien-nes, conclut : « Avec un peu d'habitude, on perçoit fort bien ces images doubles [...] et l'hypothèse de la neutralisation constante est inadmissible » (1956 : 209) ; 3) *Last but not least*, cette théorie de la neutralisation semble devoir être abandonnée, car elle n'apparaît nulle part dans les textes de Ptolémée et d'Ibn al-Haytham.

²³ Les artistes de cette époque connaissaient cependant les géométraux, comme en atteste l' *Élévation pour le*

en abscisses et FF'_{obs} en ordonnées montre toutefois une corrélation statistique entre ces valeurs (coefficient de corrélation : $R = 0,831$) (fig. 10).

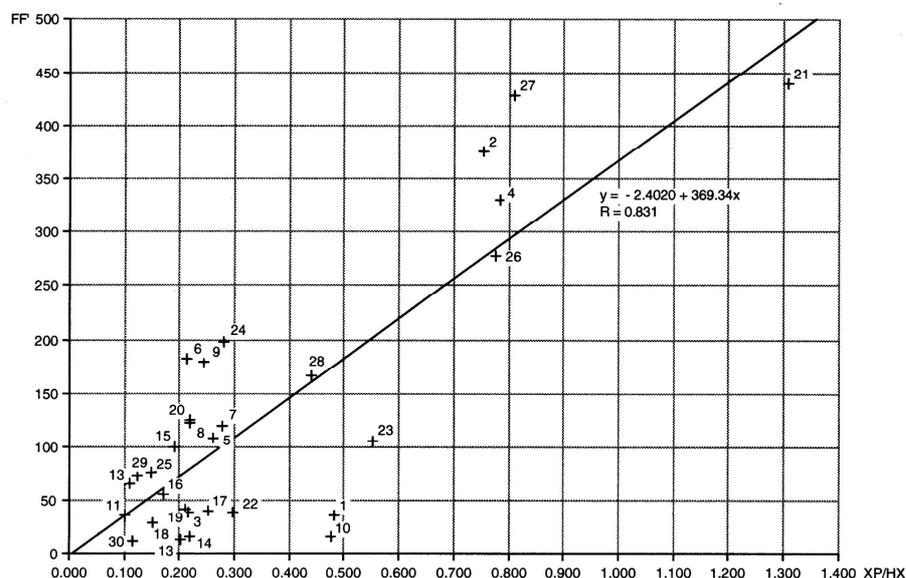


Figure 10 : Graphe montrant la corrélation entre FF'_{obs} et $FF'_{théo}$

La signification de cette correspondance pourrait être que les peintres du Trecento, sans posséder une méthode projective à même de fixer les points de fuite avec précision, ont peut-être suivi une *relation purement qualitative* du type : « Plus le sujet principal de la scène est proche du spectateur et éloigné de l'arrière-plan, plus les points de fuite doivent être écartés ». Cette relation, aisément accessible à partir du dispositif expérimental d'Ibn al-Haytham, constitue un nouvel argument pour identifier les oeuvres du corpus au type de la perspective linéaire centrale binoculaire.

Dixième argument : l'hypothèse d'un usage de la perspective binoculaire est appuyée par le fait que les principes de la vision binoculaire sont exposés dans les traités qui circulaient dans les lieux où ces oeuvres ont été réalisées.

L'examen des conditions de disparité et de fusion des quasi-images et celui de la diplopie homonyme ont été transmis au Moyen Âge latin par deux voies :

1) *une voie directe* : celle de l'optique d'Ibn al-Haytham traduite en latin et en langue vernaculaire. La traduction italienne, découverte par Narducci (1871) a été analysée en détail par Federici Vescovini (1965, 1998).

2) *une voie indirecte* : celle des traités et des commentaires latins sur l'optique. Les principaux traités du XIII^e siècle — Roger Bacon, *Perspectiva*, II, II, 2 ; John Pecham, *Perspectiva communis*, I, 80 ; Witelo, *Perspectiva*, III, 27 sq. — examinent en détail les problèmes de la vision binoculaire²⁴. Ces textes font référence aux expériences d'Ibn al-Haytham et distinguent les deux cas de diplopie. Il est frappant de constater que ces traductions et ces commentaires apparaissent dans les inventaires des bibliothèques de Rome, Florence ou Padoue (Lindberg, 1975), centres de culture optique qui ne sont autres que les lieux mêmes où la perspective à deux points a été pratiquée par les peintres du Duecento et du Trecento. Ces collections de textes ont multiplié les chances des peintres de tirer de l'optique un système de perspective inédit²⁵ — hétérodoxe au vu des conventions de représentation adoptées à la Renaissance — mais cependant intelligible une fois rapporté au savoir optique d'Ibn al-Haytham et de ses commentateurs latins.

²⁴ Au XV^e siècle, ils seront encore discutés par Ghiberti (1947 : 145) et Vinci (1972 : 53, 77, 129).

²⁵ La question est de savoir comment les artistes ont pu mettre en oeuvre des principes dérivés des théories de la vision. L'hypothèse la plus économique est celle de la commande artistique. Dans les milieux franciscains, en particulier, beaucoup ont exercé les fonctions de maître régent avant de devenir ministre provincial ou général. Le passage des charges universitaires à des charges administratives n'impliquait en rien un renoncement aux connaissances acquises durant leur formation. Ces charges administratives consistaient, pour une part, à définir le programme des campagnes artistiques. Renato Bonelli (1985) a montré que le parti architectural de la basilique supérieure d'Assise a été infléchi en des sens différents — transept de type gothique angevin ; murs nus et charpente visible ; solution gothique à voûtes d'ogives — par les ministres Aymon de Faversham (ancien lecteur à Bologne) et Bonaventura de Bagnoregio (ancien lecteur à Paris). Si l'on suppose la même implication des ministres pour les campagnes de fresques, on comprendra que d'anciens lecteurs rompus à l'optique — comme le furent par exemple Aymon de Faversham, John Pecham, Matteo d'Aquasparta ou Bartolomeo da Bologna — aient incité les artistes à s'inspirer des lois de la vision (Raynaud, 1998b). Plus tard, les artistes ont pu transmettre ce savoir sous forme de règles d'atelier. Ainsi s'expliquerait le lien entre *perspectiva naturalis* et *perspectiva artificialis*.

Annexe 1 : catalogue des oeuvres

n°	auteur	titre de l'oeuvre	date	hauteur (cm)	largeur (cm)
1.	Maître d'Isaac	<i>La Pentecôte</i>	c. 1295	390	286
2.	Giotto di Bondone	<i>L'Approbation de la règle franciscaine</i>	1296-99	270	230
3.	Giotto di Bondone	<i>Le Prêche devant Honorius III</i>	1296-99	270	230
4.	Giotto di Bondone	<i>Jésus devant Anas et Caïphe</i>	1304-06	185	200
5.	Giotto di Bondone	<i>Vierge en majesté</i>	c. 1306	325	204
6.	Giotto di Bondone	<i>Justicia</i>	c. 1308	120	60
7.	Duccio di Buoninsegna	<i>Les Noces de Cana</i>	1308-11	43,5	46,5
8.	Duccio di Buoninsegna	<i>L'Apparition du Christ par une porte close</i>	1308-11	39,5	51,5
9.	Duccio di Buoninsegna	<i>La Dernière Cène</i>	1308-11	100	53,5
10.	Simone Martini	<i>La Mort de Saint François</i>	1315-17	284	230
11.	Simone Martini	<i>Les Funérailles de Saint François</i>	1315-17	284	230
12.	Maestro senesegiante	<i>Jésus parmi les Docteurs</i>	1315-20	230	270
13.	Giotto di Bondone	<i>Madone et saints</i>	1328	54	29
14.	Pietro Lorenzetti	<i>La Nativité</i>	1342	188	183
15.	Giusto de' Menabuoi	<i>Madone sur le trône</i>	1349	—	—
16.	Barna da Siena	<i>Le Pacte de Judas</i>	c. 1350	259	236
17.	Tommaso da Modena	<i>Saint Romuald</i>	1352	—	—
18.	Lorenzo Veneziano	<i>Madone à l'enfant</i>	1372	124	50
19.	Giusto de' Menabuoi	<i>Saint sur le trône</i>	c. 1370	110	126
20.	Altichiero	<i>Le Conseil du Roi Ramire</i>	1374-79	—	—
21.	Giusto de' Menabuoi	<i>Jésus parmi les Docteurs</i>	1376-78	190	310
22.	Stefano di Sant'Agnese	<i>Madone à l'enfant</i>	c. 1390	128	58
23.	Taddeo di Bartolo	<i>La Cène</i>	1394-01	45	31,5
24.	Lorenzo Monaco	<i>L'Adoration des Mages</i>	c. 1421	30	50
25.	Lorenzo Ghiberti	<i>Le Christ parmi les Docteurs</i>	c. 1415	31	31
26.	Niccolò di Pietro	<i>Saint Benoît exorcisant un moine</i>	c. 1420	110	66
27.	Gentile da Fabriano	<i>Infirmités au tombeau de Saint Nicolas</i>	1425	36	35
28.	Giovanni di Ugolino	<i>Madone à l'enfant</i>	1436	40	26
29.	Donatello	<i>La Confession du nouveau-né</i>	1447-48	57	123
30.	Fra Angelico	<i>Le Christ bafoué</i>	1450	38,5	37

Annexe 2 : erreurs de reconstruction

n°	titre de l'oeuvre	K	FF' (mm)	AB/AF (g) (mm)	AB/AF (d) (mm)	ε_{max} (mm)	FF'/ε_{max}
1.	<i>La Pentecôte</i>	15,0	15	9 / 54	8 / 53	1,3	11,5
2.	<i>L'Approbation de la règle franciscaine</i>	12,8	179	26 / 222	26 / 222	1,7	105,3
3.	<i>Le Prêche devant Honorius III</i>	12,0	16	29 / 105	30 / 107	0,7	22,8
4.	<i>Jésus devant Anas et Caïphe</i>	9,3	140	25 / 148	34 / 200	1,2	116,7
5.	<i>Vierge en majesté</i>	15,9	72	8 / 84	8 / 84	2,1	34,3
6.	<i>Justicia</i>	5,2	117	18 / 136	18 / 136	1,5	78,0
7.	<i>Les Noces de Cana</i>	2,2	72	12 / 108	12 / 120	2,0	36,0
8.	<i>L'Apparition du Christ par une porte close</i>	2,5	71	8 / 81	8 / 80	2,0	35,5
9.	<i>La Dernière Cène</i>	3,9	76	13 / 103	13 / 101	1,6	47,5
10.	<i>La Mort de Saint François</i>	15,5	6	10 / 52	7 / 57	1,6	3,7
11.	<i>Les Funérailles de Saint François</i>	14,6	19	9 / 75	9 / 75	1,7	11,2
12.	<i>Jésus parmi les Docteurs</i>	14,3	4	9 / 47	10 / 51	1,0	4,0
13.	<i>Madone et saints</i>	2,4	73	11 / 92	12 / 89	1,7	43,7
14.	<i>La Nativité</i>	7,9	7	39 / 141	40 / 146	0,7	10,0
15.	<i>Madone sur le trône</i>	c.4	67	7 / 103	13 / 107	2,9	23,1
16.	<i>Le Pacte de Judas</i>	17,2	28	13 / 61	14 / 64	0,9	31,1
17.	<i>Saint Romuald</i>	c.5	35	14 / 75	13 / 70	1,1	31,8
18.	<i>Madone à l'enfant</i>	5,7	20	21 / 77	20 / 77	0,8	25,0
19.	<i>Saint sur le trône</i>	7,0	27	17 / 76	15 / 71	0,9	30,0
20.	<i>Le Conseil du Roi Ramire</i>	c.10	52	16 / 187	16 / 187	2,3	22,6
21.	<i>Jésus parmi les Docteurs</i>	14,1	77	30 / 125	41 / 144	1,0	77,0
22.	<i>Madone à l'enfant</i>	5,0	31	16 / 87	13 / 85	1,3	23,8
23.	<i>La Cène</i>	1,8	58	25 / 138	23 / 137	1,2	48,3
24.	<i>L'Adoration des Mages</i>	1,9	111	17 / 152	27 / 146	1,8	61,7
25.	<i>Le Christ parmi les Docteurs</i>	1,7	31	10 / 46	9 / 45	1,0	31,0
26.	<i>Saint Benoît exorcisant un moine</i>	4,6	116	37 / 119	30 / 104	0,7	165,7
27.	<i>Infirmes au tombeau de Saint Nicolas</i>	1,7	143	50 / 174	57 / 190	0,7	204,3
28.	<i>Madone à l'enfant</i>	1,7	104	24 / 128	25 / 127	1,1	94,5
29.	<i>La Confession du nouveau-né</i>	5,7	19	11 / 123	12 / 127	2,1	9,0
30.	<i>Le Christ bafoué</i>	1,6	6	28 / 187	16 / 97	1,3	4,6

Annexe 3 : distance des points de fuite

n°	titre de l'oeuvre	XH (cm)	XP (cm)	XP/XH —	FF'_{obs} (cm)
1.	<i>La Pentecôte</i>	278	134	0,482	36
2.	<i>L'Approbation de la règle franciscaine</i>	219	165	0,753	376
3.	<i>Le prêche devant Honorius III</i>	381	82	0,215	39
4.	<i>Jésus devant Anas et Caïphe</i>	312	245	0,785	331
5.	<i>Vierge en majesté</i>	158	41	0,259	108
6.	<i>Justicia</i>	147	36	0,245	172
7.	<i>Les Noces de Cana</i>	696	194	0,279	120
8.	<i>L'Apparition du Christ par une porte close</i>	581	127	0,219	122
9.	<i>La Dernière Cène</i>	463	99	0,214	195
10.	<i>La Mort de Saint François</i>	246	117	0,476	15
11.	<i>Les Funérailles de Saint François</i>	748	76	0,102	36
12.	<i>Jésus parmi les Docteurs</i>	680	137	0,201	13
13.	<i>Madone et saints</i>	231	25	0,108	65
14.	<i>La Nativité</i>	317	69	0,218	16
15.	<i>Madone sur le trône</i>	193	37	0,192	100
16.	<i>Le Pacte de Judas</i>	540	92	0,170	56
17.	<i>Saint Romuald</i>	147	37	0,252	40
18.	<i>Madone à l'enfant</i>	240	36	0,150	29
19.	<i>Saint sur le trône</i>	213	45	0,211	42
20.	<i>Le Conseil du Roi Ramire</i>	492	107	0,217	125
21.	<i>Jésus parmi les Docteurs</i>	656	859	1,309	440
22.	<i>Madone à l'enfant</i>	128	38	0,297	38
23.	<i>La Cène</i>	380	210	0,553	106
24.	<i>L'Adoration des Mages</i>	412	116	0,282	198
25.	<i>Le Christ parmi les Docteurs</i>	355	53	0,149	75
26.	<i>Saint Benoît exorcisant un moine</i>	494	384	0,777	278
27.	<i>Infirmes au tombeau de Saint Nicolas</i>	738	597	0,809	429
28.	<i>Madone à l'enfant</i>	458	202	0,441	166
29.	<i>La Confession du nouveau-né</i>	783	96	0,123	72
30.	<i>Le Christ bafoué</i>	558	64	0,115	12

Bibliographie

- Alberti, Leon Battista, *De la peinture/De pictura (1435)*. Préface, traduction et notes par Jean-Louis Schefer, introduction par Sylvie Deswarte-Rosa. Paris : Macula/Dédale, 1992.
- Alhazen, Abû 'Alî al-Hasan Ibn al-Hasan Ibn al-Haytham, *Opticae Thesaurus Alhazeni Arabi libri septem [...]*, with an introduction by D.C. Lindberg. New York : Johnson Reprint Corporation, 1972.
- Alhazen, Abû 'Alî al-Hasan Ibn al-Hasan Ibn al-Haytham, *The Optics of Ibn Al-Haytham*, Books I-III : *On direct vision*. Translated with introduction and commentary by A.I. Sabra. London : The Warburg Institute, 1989.
- Arrighi, Gino (1967). Un estratto dal "De visu" di M^o Grazia de' Castellani (dal Codice Ottoboniano latino 3307 della Biblioteca Apostolica Vaticana), *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*, 22 : 44-58.
- Bacon, Roger, *The Opus maius of Roger Bacon*, edited with introduction and analytical table by J.H. Bridges. Frankfurt am Main : Minerva GmbH, 1964.
- Baggio, Luca (1994). Sperimentazioni prospettiche e ricerche scientifiche a Padova nel secondo Trecento, *Il Santo*, 34, 2/3 : 173-232.
- Bergdolt, Klaus (1989). Bacon und Giotto : Zum Einfluss der franziskanischen Naturphilosophie auf die Bildende Kunst am Ende des 13. Jahrhunderts, *Medizin Historisches Journal*, 24, 1/2 : 25-39.
- Bonelli, Renato (1985). Basilica di Assisi : i committenti, *Antichità Viva/Mélanges Luisa Becherucci*, 24 : 174-179.
- Bunim, Miriam Schild (1940). *Space in Mediaeval painting and the forerunners of perspective*. New York : Columbia University Press.
- Camerota, Filippo (1998). Misurare "per perspectiva" : geometria pratica e *prospettiva pingendi*, Sinisgalli, R. ed., *La prospettiva. Fondamenti teorici ed esperienze figurative dall'Antichità al mondo moderno*. Atti del Convegno Internazionale di Studi, Istituto Svizzero di Roma, 11-14 settembre 1995. Firenze : Cadmo, 293-308.
- Cecchini, Francesca (1998). Artisti, committenti e prospettiva in Italia alla fine del Duecento, Sinisgalli, R. ed., *La prospettiva. Fondamenti teorici ed esperienze figurative dall'Antichità al mondo moderno*. Atti del Convegno Internazionale di Studi, Istituto Svizzero di Roma, 11-14 settembre 1995. Firenze : Cadmo, 56-74.
- Danti, Egnazio, *Le due regole della prospettiva pratica di M. Iacomo Barozzi da Vignola con i commentarij del R.P.M. Egnatio Danti dell'ordine dei Predicatori, Matematico dello studio di Bologna*. Roma : Francesco Zanetti, 1583.
- Federici Vescovini, Graziella (1965). Contributo per la storia della fortuna di Alhazen in Italia : Il vulgarizzazione del ms. vat. 4595 et il 'Commentario Terzo' del Ghiberti, *Rinascimento*, 5 : 17-49.
- Federici Vescovini, Graziella (1998). Alhazen vulgarisé : le De li aspecti d'un manuscrit du Vatican (moitié du XIV^e siècle) et le troisième commentaire sur l'optique de Lorenzo Ghiberti, *Arabic Sciences and Philosophy*, 8 : 67-96.
- Field, Judith V. (1997). Alberti, the abacus and Piero della Francesca's proof of perspective, *Renaissance Studies*, 11, 2 : 61-88.
- Flocon, André et Barre, André (1968). *La perspective curviligne. De l'espace visuel à l'image construite*. Paris : Flammarion.
- Ghiberti, Lorenzo (1947). *I Commentari*, a cura di Ottavio Morisani. Napoli : Riccardo Ricciardi editore.
- Gioseffi, Decio (1957). *Perspectiva artificialis. Per la storia della prospettiva, spigolature e appunti*. Trieste : Tipografia Smolars.
- Grodecki, Louis (1979). *Architecture gothique*. Paris : Berger-Levrault.
- Helmholtz, Hermann von (1867). *Optique physiologique*. Paris : Masson et Cie.

- Innocenti, Giovanni degli (1983). Restitutions perspectives : hypothèses et vérifications méthodologiques, Pedretti, C., *Léonard de Vinci architecte*. Paris : Electa Moniteur, 274-289.
- Laurent, Roger (1987). *La place de J.-H. Lambert (1728-1777) dans l'histoire de la perspective*. Paris : Cedic/Nathan.
- Lejeune, Albert (1958). Les recherches de Ptolémée sur la vision binoculaire, *Janus*, 47 : 79-86.
- Lejeune, Albert (1989). *L'optique de Claude Ptolémée dans la version latine d'après l'arabe de l'émir Eugène de Sicile*. Leiden : E.J. Brill.
- Lindberg, David C. (1975). *A catalogue of mediaeval and Renaissance optical manuscripts*. Toronto : The Pontifical Institute of Mediaeval Studies.
- Ludi, Jean-Claude (1989). *La perspective pas à pas. Manuel de construction graphique de l'espace et tracé des ombres*. Paris : Dunod.
- Manetti, Antonio di Tuccio (1927). *Vita di Filippo di Ser Brunellesco*. Firenze : E. Berti Toesca.
- Mesa Gisbert, Andrés de (1989). El 'fantasma' del punto de fuga en los estudios sobre la sistematización geométrica de la pintura del siglo XIV, *D'Art*, 15 : 29-50.
- Narducci, Eugenio (1871). Nota intorno a una traduzione italiana fatta nel secolo decimo-quarto del trattato d'ottica d'Alhazen, *Bollettino di Bibliografia e di Storia delle Scienze Matematiche e Fisiche*, 4 : 1-10.
- Parronchi, Alessandro (1964). *Studi sulla dolce prospettiva*. Milano : A. Martello.
- Parronchi, Alessandro (1974). Prospettiva e pittura in Leon Battista Alberti, *Convegno internazionale indetto nel V Centenario di Leon Battista Alberti* (Roma-Mantova-Firenze, 25-29 aprile 1972). Roma : Accademia Nazionale dei Lincei : 213-232.
- Pecham, John. *John Pecham and the science of Optics : Perspectiva communis*, edited with an introduction, English translation and critical notes by D.C. Lindberg. Madison : Wisconsin University Press, 1970.
- Pigassou-Albouy, R. (1992). *Les strabismes, II : Les convergences oculaires*. Paris : Masson.
- Rashed, Roshdi (1997). *Oeuvres philosophiques et scientifiques d'al-Kindî*, tome 1 : *L'optique et la catoptrique*. Leiden : Brill.
- Raynaud, Dominique (1998a). Perspective curviligne et vision binoculaire, *Sciences et Techniques en Perspective*, 2 (1) : 3-23.
- Raynaud, Dominique (2003a). Ibn al-Haytham sur la vision binoculaire : un précurseur de l'optique physiologique, *Arabic Sciences and Philosophy*, 13 : 79-100.
- Raynaud, Dominique (2003b). La théorie des erreurs et son application à la reconstruction des tracés perspectifs, M. Dalai, M. Le Blanc, P. Dubourg-Glatigny, eds., *L'artiste et l'oeuvre à l'épreuve de la perspective*, Colloque international (Rome, 19-21 septembre 2002). Rome : Publications de l'École française de Rome.
- Raynaud, Dominique (soumis). Une propriété mathématique de la perspective synthétique réfutant son existence médiévale, *Zeitschrift für Kunstgeschichte* (Berlin).
- Roccasecca, Pietro (2002). Le due regole della prospettiva pratica, Tuttle, R.J., Adorni, B., Frommel, C.L., Thoenes, C., eds. *Jacopo Barozzi da Vignola*. Milano : Electa, 91-99, 367-377.
- Sabra, Abdelhamid I. (1989). *The Optics of Ibn Al-Haytham, Books I-III : On direct vision*. Translated with introduction and commentary. London : The Warburg Institute.
- Saraux, Henry et Biais, Bertrand (1983). *Physiologie oculaire*. Paris : Masson.
- Simon, Gérard (1988). *Le regard, l'être et l'apparence dans l'optique de l'Antiquité*. Paris : Le Seuil.
- Vinci, Leonardo da. *The notebooks of Leonardo da Vinci*, compiled and edited from the original mss. by Jean-Paul Richter. New York : Dover Publications Inc., 1972.
- White, John (1957). *The birth and rebirth of pictorial space*. London : Faber and Faber.

