



HAL
open science

Les normes de la rationalité dans une controverse scientifique:le cas de l'optique médiévale

Dominique Raynaud

► **To cite this version:**

Dominique Raynaud. Les normes de la rationalité dans une controverse scientifique:le cas de l'optique médiévale. L'Année Sociologique, 1998, 48 (2), pp.447-466. halshs-00006157

HAL Id: halshs-00006157

<https://shs.hal.science/halshs-00006157>

Submitted on 24 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.

Les normes de la rationalité dans une controverse scientifique: le cas de l'optique médiévale

Dominique Raynaud¹

Résumé. Cet article se propose de tester le principe d'une analyse sociologique des contenus scientifiques reliée à un examen des normes de rationalité. Dans la deuxième moitié du XIII^e siècle, est apparu une controverse sur l'extramission *vs.* l'intromission des rayons visuels, à laquelle prirent part Grosseteste, Bacon et Pecham. L'analyse des acceptations du mot vérité à cette époque montre que les arguments d'autorité faisaient partie des normes de rationalité. Or, en suivant l'autorité de Saint Augustin, les savants franciscains auraient dû soutenir l'intromission, ce qu'ils ne firent pas. L'étude de cette controverse échappe donc au programme d'une sociologie des sciences relativiste. Elle incite à limiter l'analyse des contenus aux seules failles logiques, axiomes et postulats, et rend ainsi cette analyse congruente avec les normes anhistoriques de la rationalité.

Mots-clefs. Controverse, optique médiévale, contexte religieux, relativisme, vérité, rationalisme.

Summary. This paper tests the principle of an analysis of scientific contents, related to an examination of the norms of rationality. In the second half of XIIIth century, optics was a controversial topic on the matter of extramission *vs.* intromission of visual rays. Grosseteste, Bacon and Pecham took part to this dispute. The analysis of linguistic acceptations of truth in this time shows that the norms of rationality clearly partakes of authority. Now, following Augustine's authority, Franciscan scientists ought to have maintained the intromission thesis, but did not. Therefore, the study of this controversy escapes to the programme of relativism defended in the field of sociology of scientific knowledge. It incites to confine the analysis of contents to logical inconsistencies, axioms and postulates. Such an analysis so becomes congruent with anhistorical norms of rationality.

Keywords. Controversy, mediaeval optics, religious context, relativism, truth, rationalism.

La sociologie des sciences est tiraillée par deux questions. La première a trait à l'anhistoricité des normes de rationalité. Elle oppose les relativistes (Barnes, Bloor, Latour, Stengers) et les rationalistes (Popper, Lakatos, Hollis, Boudon). Pour les relativistes, les normes de la rationalité ne sont ni absolues ni universelles. Le consensus autour d'une théorie ne serait pas de nature logique, il serait socialement construit par l'adoption de stratégies adéquates au sein des réseaux scientifiques. Pour les rationalistes, au contraire, l'adoption d'une théorie repose sur la preuve scientifique, c'est-à-dire sur une argumentation logique, qui entraîne un consensus des savants.

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

La deuxième question — qui se déduit de la première — concerne l'hypothétique détermination sociale des contenus scientifiques. Elle oppose le courant classique, mertonien, à ceux qui adoptent, d'une façon plus ou moins nuancée, le programme de la nouvelle sociologie des sciences. Les mertonien limitent leurs analyses aux institutions scientifiques, et laissent l'analyse des contenus aux épistémologues. Les adeptes du programme fort prétendent au contraire soumettre les énoncés scientifiques à une analyse sociologique, puisque ceux-ci n'ont pas de fondement logique et qu'ils jouissent seulement d'une crédibilité sociale conquise par les jeux de pouvoir et l'influence des facteurs extra-scientifiques (Vinck, 1995).

Cet article souhaite montrer que la controverse qui fit irruption dans le champ de l'optique médiévale constitue un cas exemplaire pour tester l'hypothèse d'une relativité des normes de la rationalité par rapport au contexte de production de la science. Les énoncés qui vont être examinés relèvent tous d'une branche étroite de la connaissance scientifique: l'optique, prise en un lieu et en un temps déterminé (l'école d'Oxford au XIII^e siècle). Cette focalisation n'est pas fortuite. Elle résulte de deux conjonctures intéressantes du point de vue sociologique:

1) Elle isole une controverse scientifique dans l'histoire de cette discipline. Ce fait est intéressant à double titre. Premièrement, parce que les études placées dans le sillage de l'« Empirical programme of relativism » de Collins (1981) s'attachent souvent à décrire des controverses scientifiques pour mettre en évidence les « mécanismes de clôture » qui dépendent, selon eux, des structures sociales et politiques (Collins et Pinch, 1994). Ce pourrait être l'occasion de le vérifier. Deuxièmement, parce que toute controverse suscite une argumentation manifeste, qui rend visible l'arsenal des raisons et des paralogismes disponibles à une époque donnée (qui auraient pu rester implicites en d'autres circonstances). La controverse optique, bien qu'ancienne, s'est trouvée réactivée au XIII^e siècle par suite d'une accessibilité nouvelle des textes. Les principales sources, gréco-latines (Aristote, Euclide, Ptolémée, Damianus) ou arabes (Ibn al-Haytham, al-Kindî, Ibn Sînâ, Ibn Rushd), sont désormais commensurables parce qu'elles sont traduites en une même langue: le latin. Parmi les sources arabes, il convient de distinguer le traité d'Ibn al-Haytham (Alhazen) qui fait preuve, sur un grand nombre de questions, d'une clarté et d'une maturité jamais égalée par les penseurs de l'Antiquité. Ses idées ont eu une influence décisive dans cette controverse.

2) Cette étude isole une « école », un milieu intellectuel spécifique, puisque les savants dont il sera question — Robert Grosseteste (1168-1253), Roger Bacon (1214-1294), John Pecham (1230-1292) — ont tous rédigé leurs traités d'optique dans la deuxième moitié du XIII^e siècle.

Le *De iride* date des années 1240, l'*Opus majus* et le *De multiplicatione specierum* de 1262-1263, le *Tractatus de perspectiva* de 1267 et la *Perspectiva communis* de 1279. Ces trois savants se caractérisent aussi par leur fréquentation consécutive du *studium* franciscain d'Oxford. Il n'existe certes aucun document attestant l'appartenance de Robert Grosseteste aux Frères Mineurs, mais on sait qu'il y assura une charge de lectorat pour une période d'au moins douze ans. Roger Bacon entra dans l'ordre en 1251, après avoir été l'élève d'Adam de Marsh, un proche de Grosseteste et *magister regens* de l'université d'Oxford après lui. Quant à John Pecham, il devint franciscain vers 1248 sur les conseils d'Adam de Marsh. Il en suivit d'ailleurs les enseignements jusqu'en 1257, date à laquelle il quitta le *studium oxoniense* pour Paris (Lindberg, 1972). Il existe une filiation entre ces trois savants. Les historiens — qui ne sont pas tous d'accord sur le fait que Bacon ait été un disciple direct de Grosseteste (Bridges, 1964 vs Lindberg, 1983) — reconnaissent unanimement l'influence du second sur le premier: Bacon cite abondamment Grosseteste, en des termes souvent élogieux². Il est par ailleurs établi que Bacon et Pecham se connaissaient personnellement: ils résidèrent au *studium parisiense* entre 1257 et 1267. Grosseteste, Bacon et Pecham, qui apportèrent chacun une contribution décisive à l'optique médiévale, appartenaient au même milieu intellectuel (Raynaud, 1998). Enfin, l'étude de la position des trois Oxoniens dans cette controverse est d'autant plus justifiée que leurs traités exposent, non seulement les contenus scientifiques, mais aussi les normes de rationalité en fonction desquelles ces contenus furent choisis.

1. Extramission et intromission

Le fondement de la controverse concerne les modalités de la vision. L'opération de la vue suppose-t-elle l'émission ou seulement la réception des rayons visuels? Ces modalités sont connues sous les noms d'extramission (la lumière sort de l'oeil) et d'intromission (la lumière entre dans l'oeil). C'est là, sous une forme épurée, l'origine de la controverse optique. À cette question du sens de propagation des rayons visuels, les perspectivistes ne pouvaient logiquement donner que l'une des quatre solutions du diagramme de Carroll (Figure 1):

2. « Solus unus sciuit scientias ut Lincolniensis episcopus. Et solus dominus Robertus dictus grossum caput nouit scientias. Inuenti enim sunt uiri famosissimi ut episcopus Robertus Lincolniensis et frater Adam de Marisco et multi alii qui per potestatem mathematicae sciuerunt causas omnium explicare. » (*Opus majus*, III, *hujus persuasionis*, IV, I, 3).

E	$\neg E$	
(E, S)	($\neg E$, S)	S
(E, $\neg S$)	($\neg E$, $\neg S$)	$\neg S$

Figure 1: Diagramme des alternatives logiques

Si l'on convient de noter: E « entrer »; et S « sortir », il existe quatre combinaisons possibles: ($\neg E$, S) extramission pure; (E, $\neg S$) intromission pure; (E, S) solution hybride combinant l'intromission et l'extramission; ($\neg E$, $\neg S$) négation des deux thèses. Cette dernière solution n'a pas été examinée par les docteurs d'Oxford, mais on en trouve l'écho dans la théorie du *medium* adoptée par Galien et ses successeurs arabes comme Hunayn Ibn Ishâq (Lindberg, 1976: 38).

À l'époque où nous prenons cette controverse, aucune de ces thèses ne pouvait être considérée comme vraie, car il n'existait pas de test expérimental susceptible de les départager avec certitude. Il n'avait pas été davantage reçu d'argument logique irréfutable en faveur de l'une ou de l'autre. Dans une étude consacrée aux aspects de cette controverse dans le monde arabe, Lindberg (1978) a parfaitement montré que le choix d'une direction du rayonnement était étroitement lié avec des questions plus fondamentales concernant le champ même que l'on assignait à la théorie de la vision. La détermination du sens des rayons pouvait, en ce sens, dépendre de certains chapitres d'optique physique, d'anatomie et de physiologie de la vision. D'autres études ont également montré que le choix de l'une ou l'autre thèse avait une incidence non négligeable sur des questions de psychologie de la perception. Les perspectivistes se sont néanmoins appliqués à justifier leur position à partir d'arguments plus ou moins convaincants (et par ailleurs éminemment variables quant à leur recevabilité scientifique, ces arguments oscillant régulièrement de la preuve à la croyance symbolique). Avant d'en venir à l'exposé des raisons pour lesquelles les agents ont préféré l'une de ces thèses, il est utile de rappeler les arguments dont ils pouvaient disposer.

1. La thèse de l'extramission

La thèse de l'extramission, qui défend l'idée selon laquelle les rayons visuels sont issus de l'oeil (sortir: lumière / oeil), est issue de théories de la vision dont on trouve les premières manifestations dans l'Antiquité. Les arguments avancés sont les suivants:

Argument 1: L'existence des phosphènes. Les docteurs se réfèrent généralement au texte d'Aristote qui admet incidemment cette émission de lumière: « Si l'on exerce une pression sur l'oeil ou qu'on lui imprime un mouvement, des lueurs de feu semblent en jaillir » (*De sensu et sensato*, 437 a). Si donc l'oeil est capable de faire naître de la lumière alors que la paupière est fermée, c'est bien que l'émission du feu visuel est une propriété intrinsèque de l'organe de la vue. Et l'on ne voit pas pourquoi il en serait autrement dans les conditions normales de la vision, c'est-à-dire lorsque les paupières sont ouvertes.

Argument 2: La sélectivité de l'oeil. Les savants du Moyen Âge ont repris massivement à l'égard de la thèse de l'extramission un vieil argument dont une première occurrence se trouve dans le texte de Théon d'Alexandrie: « Si la sensation visuelle était causée par la précipitation dans les organes de la vue d'images matérielles [...] pour quelle raison, alors, un homme qui regarde avec attention un livre ne verrait-il pas toutes les lettres? » (*Opticae recensio*, 150). Sans insister sur une critique de cet argument, il convient de reconnaître que l'on a confondu ici l'accommodation-orientation du regard avec l'extramission du rayon visuel, qui sont deux questions logiquement indépendantes.

Argument 3: La sphéricité de l'oeil. Ce paralogisme, qui repose sur une conception symbolique de la correspondance entre la forme des organes et leur fonction, était déjà utilisé par Damianus qui écrit: « Que c'est grâce à un rayonnement issu de nous que nous frappons les objets de la vue, cela nous est montré par la forme des yeux; cette forme n'est ni creuse, ni disposée pour la réception de quelque chose [...] mais elle est sphérique » (*Optica*, in Mugler, 1964: 322). La forme de l'oeil, par sa convexité qui semble peu propice à « recueillir » les rayons, justifie en quelque manière l'adhésion à la thèse de l'extramission.

Argument 4: la phosphorescence de l'oeil des félins. La vision nocturne des félins a souvent servi de preuve en faveur de la thèse de l'extramission. Même lorsque les savants connaissent l'existence de la thèse adverse, il reproduisent souvent cet argument. Comme nombre de prédécesseurs, Pecham aborde la question de la phosphorescence de l'oeil du chat. Il écrit: « Toutefois, on dit que le chat a tant de lumière [dans les yeux], qu'elle lui suffit totalement à se faire une image claire du milieu et de l'objet; et je pense que c'est vrai.³ » Dans un second traité de 1279, il ajoutera — en cédant cette fois à la croyance: « La vision se fait seulement au travers d'un médium diaphane [...] Toutefois, il est dit que les lynx voient à travers les murailles.⁴ » Des idées comparables apparaissent dans le texte de Bacon (*Opus majus*, V, I, V, 1). Si la vision des félins échappe à la règle du médium transparent, c'est parce que leur vue est « perçante ». Elle est donc active.

3. « Catus tamen dicitur habere tantum de lumine ut totaliter sufficiat médium disponere et objectum et putuerum esse. » (*Tractatus de perspectiva*, IV, 89).

4. « Visum non fieri nisi per médium dyaphonum. Hinc lince uidere dicuntur per médium parietem. » (*Perspectiva communis*, I, 51).

Argument 5: la corruption des miroirs. Il existe depuis l'Antiquité une croyance populaire dont Aristote — pourtant partisan de la thèse de l'intromission dans le *De sensu et sensato* — se fait l'écho. Il écrit: « Le fait des miroirs prouve en même temps que, comme la vue souffre de quelque chose, de même elle agit aussi. En effet, sur les miroirs tout à fait nets, quand, au moment des menstrues, les femmes jettent le regard dessus, il se forme à la surface comme un nuage sanglant » (*De insomniis*, 459 b). Cet argument est peut être sans réalité, mais il défend la thèse de l'extramission: les rayons visuels sont capables de communiquer la sanguinité de l'oeil au milieu diaphane et aux objets sensibles comme les miroirs. Cette pseudo-preuve est mentionnée par John Pecham (*Tractatus de perspectiva*, IV, 7).

Argument 6: le renforcement des yeux. Cette dernière justification était également connue d'Aristote: « Les yeux [...] sont saillants, enfoncés ou dans une position moyenne. Plus ils sont enfoncés, plus ils sont perçants, chez quelque animal que ce soit » (*De animalibus*, I, 9, 491 b). Il est difficile de comprendre spontanément en quoi cette hypothétique propriété des yeux enfoncés dans l'orbite appuie la thèse de l'extramission. C'est pourtant le cas: car si l'on admet que le siège de la faculté visuelle est situé à la croisée du nerf commun, plus le trajet entre ce point et l'oeil est court, moins il y a de perte d'influx visuel le long du nerf optique, et plus l'émission est intense. Roger Bacon signale cette idée dans son traité de perspective (*Opus majus*, V, II, I, 1).

Comme on peut le constater, ces arguments tiennent parfois du paralogisme ou de la croyance populaire. Mais si l'on veut comprendre les termes du débat, il faut s'astreindre à ne pas exercer sur eux la critique rationnelle que nous serions tenté de leur appliquer aujourd'hui. Prenons-les pour l'instant comme une justification de la thèse de l'extramission.

2. La thèse de l'intromission

L'existence même d'une controverse témoigne qu'aucune de ces deux thèses n'a entraîné un accord immédiat. Elles furent longtemps considérées comme des théories adverses de poids sensiblement équivalent, chacune étant étayée par un réseau de raisons et de pseudo-raisons. La thèse de l'intromission, selon laquelle l'oeil procède à une capture des rayons visuels issus du monde extérieur (*entrer*: lumière / oeil), s'oppose à la première par une nouvelle série d'arguments:

Argument 1': L'absence de vision nocturne chez l'homme. Les opticiens ont connu cet argument sous différentes formes, mais principalement par la lecture d'Aristote. On sait en effet que le Stagyrite récuse la position de Platon en faveur du feu visuel, dans ces termes: « Car si la vision était le résultat d'une émission de lumière, sortant de l'oeil comme d'une lanterne, pourquoi alors l'oeil ne verrait-il pas dans

l'obscurité? » (*De sensu et sensato*, II, 437 b). Si l'œil humain ne voit pas dans l'obscurité, il ne doit pas être assimilé à l'œil des félins, et il n'est donc pas responsable d'une émission de lumière. Cette idée a toujours constitué l'argument majeur à l'encontre de la thèse précédente.

Argument 2': La douleur causée par une lumière trop vive. Lorsqu'ils évoquent cet argument, les docteurs du Moyen Âge se réfèrent à Ibn al-Haytham, traduit depuis peu en latin, qui réfute ainsi l'émission de rayons visuels. Le savant arabe écrit: « Nous avons remarqué que lorsque les yeux regardent des lumières extrêmement fortes, ils en ressentent douleur et dommage [...] un observateur qui se tourne vers le soleil, ne peut le voir correctement car cette lumière trop forte lui blesse les yeux » (*Opticae thesaurus*, I, 17). S'il est exact que l'œil émet un fluide visuel, pourquoi devrait-il souffrir plus en fixant le soleil qu'en regardant un arbre? La différence d'affection (aveuglement, larmolement, etc.) indique que le rayon visuel suit un trajet qui va des corps visibles vers l'organe de la vue, non l'inverse.

Argument 3': L'absence de propagation instantanée. La question, visant à déterminer si la propagation des rayons visuels se fait instantanément ou dans le temps, a été réglée fort différemment selon les époques. Au XIIIe siècle, la mention de cette question s'accompagne plutôt d'une réponse qui suppose un temps de propagation. Bacon dit à ce propos: « Il reste donc que la multiplication de la lumière se fait dans le temps, et ainsi de toutes les espèces visibles et de la vision.⁵ » Pecham répète le même argument sous une forme à peine différente⁶. L'idée est la suivante: si l'œil projetait la faculté visuelle par des rayons, comment pourrions-nous voir, dans le même temps, un objet proche et un objet lointain comme une étoile? C'est impossible, car, à l'ouverture de la paupière, l'œil verrait le proche avant le lointain. Si rien de tel ne se produit, c'est donc que l'œil n'émet pas de rayon visuel.

Argument 4': L'impossibilité de rayons immenses. Cet argument, qui semble avoir été construit par les savants de l'Antiquité, est parfois mentionné par les docteurs qui adhèrent à la thèse de l'intromission. John Pecham, par exemple, développe cet argument à l'encontre d'une théorie faisant du rayon visuel un vecteur propagateur des images des corps visibles. Il écrit: « Il n'est donc pas nécessaire d'exiger des rayons qu'ils soient comme des messagers. En outre, comment quelque puissance des yeux pourrait-elle s'étendre jusqu'aux étoiles?⁷ » En effet, si l'on admet l'extramission, l'œil n'est pas assez puissant pour envoyer un influx visuel à la sphère des fixes, dont la distance est estimée par Roger Bacon à 130

5. « Relinquitur ergo quod lux multiplicatur in tempore et omnes species rei visibilis et visus similiter. » (*Opus majus*, V, I, IX, 3).

6. « Omnia que videntur tempore comprehenduntur. Immutatio enim sensibilis non fit nisi in tempore sicut dicuntur cent illusiones sensuum in veloci quorundam transportatione. » (*Perspectiva communis*, I, 53).

7. « Ergo non est necesse ut radii quasi nuntii requirantur. Amplius quomodo aliqua virtus oculi usque ad sidera protendatur etiam si corpus totum in spiritum resolveretur? » (*Perspectiva communis*, I, 45).

millions de kilomètres.⁸ Et quand bien même il le pourrait, l'hypothèse tomberait alors sous le coup de l'argument précédent.

Lorsqu'on fait la synthèse des arguments qui ont été imaginés à la faveur de l'intromission ou de l'extramission des rayons visuels, on constate à la fois des différences quantitatives et qualitatives. Quantitative, parce qu'on recense six arguments pour la thèse de l'extramission et quatre seulement pour la thèse adverse. Qualitative, parce que ces arguments ne sont manifestement pas de poids équivalent, question sur laquelle nous aurons l'occasion de revenir.

2. Les arguments des oxoniens

Grosseteste, Bacon et Pecham prirent part à cette controverse qui se réactiva au XIII^e siècle entre les deux théories de la vision, l'une prétendant que l'oeil émet des rayons, l'autre assurant que l'oeil se contente de les recevoir. Ils connaissaient le stock argumentaire fourni par les sources latines et arabes que nous venons de parcourir, ce dont on peut se rendre compte, soit par la citation explicite des sources, soit par l'analyse comparée des textes (Raynaud, 1998: 163-194). Il importe maintenant de reconnaître la synthèse qu'ils en ont déduite. Si les trois Oxoniens furent identiquement confrontés à cette difficulté, ils imaginèrent en revanche des solutions fort différentes.

1. La position de Grosseteste

Robert Grosseteste identifie la controverse en ces termes: « Ainsi, les philosophes de la nature, affirmant que la vue naturelle est totalement passive, disent que la vision se fait par intromission. Mais les mathématiciens et les physiciens, affirmant que la vue naturelle est entièrement active, disent qu'elle se fait par extramission. » Suivant explicitement le texte du *De animalibus* d'Aristote, Grosseteste tranche alors en faveur de l'extramission pure: « La vraie perspective reste donc sur l'hypothèse des rayons émis.⁹ » Il faut noter que cette position lui est

8. « Sententiat ergo Alfraganus ex comparatione semidiametri terrae ad semidiametrum orbis stellati quod distantia orbis stellati a centro terrae est 65.357.500 milliaria quod si duplicetur erit diameter totius orbis stellatis scilicet 130.715.000 milliaria. » (*Opus majus*, IV, [III, 6]). L'auteur écrit quelques pages plus haut: « Oportet igitur supponere quod milliaria continet 4000 cubitorum » (1 *cubitus* vaut cinquante centimètres).

9. « Vnde philosophi naturales tangentes id quod est ex parte uisus naturale et passiuum dicunt uisum fieri intussusciendo. Mathematici uero et physici considerantes ea quae sunt supra naturam tangentes id quod est

acquise à partir d'une lecture partielle d'Aristote. En effet, le rapprochement des traités *De anima*, *De insomniis*, *De sensu et sensato* et *De animalibus* fait apparaître qu'Aristote a sans cesse oscillé entre les thèses de l'extramission et de l'intromission. Dans les traités *De insomniis* et *De animalibus* il expose la thèse de l'extramission, alors qu'il se prononce plus clairement en faveur de la seconde dans le *De sensu et sensato*. Ailleurs, il conclut que « C'est moyennant la passion subie par l'organe que se produit la sensation » (*De anima*, II, 419 a). Robert Grosseteste ignore ces contradictions, et s'en tient à la lecture homogène qu'on faisait de ces textes avant que ne soient diffusées les critiques arabes. Grosseteste cite parfois Averroès (Ibn Rushd), Avicenne (Ibn Sînâ) et Albumazar, mais ne fait jamais référence à la théorie décisive d'Alhazen (Ibn al-Haytham).

2. La position de Bacon

Contrairement à son prédécesseur, Roger Bacon connaissait à la fois les textes de la tradition gréco-latine et le traité d'Ibn al-Haytham¹⁰ (Lindberg, 1971: 80). Il ne pouvait donc pas, à la manière de Grosseteste, tirer une lecture tout en faveur de l'une ou l'autre thèse. Se refusant à trancher entre les deux positions, il lui parut nécessaire de proposer une synthèse conciliatrice. Certains ont soutenu que l'oeil lançait des rayons, d'autres ont contesté cette opinion, par conséquent, les images ne peuvent pénétrer dans l'oeil qu'« aidées et appelées par la faculté visuelle [...] » Cette solution hybride combine des éléments d'intromission et d'extramission. Bacon tente de défendre cette thèse en précisant qu'il ne résulte aucune contradiction de ce rapport: « Il n'est pas de confusion de ces images, ni de mélange, ni d'union entre elles, parce qu'elles ne sont pas du même genre.¹¹ »

ex parte uisus supra naturam et actiuum dicunt uisum fieri extramittendo. Hanc partem uisus quae fit per extramissionem exprimit Aristoteles aperte in libro de animalibus ultimo dicens 'oculus profundus uidet remote nam motus eius non diuiditur neque consumitur sed exit ab eo uirtus uisualis et uadit recte ad res uisas'. Et iterum in eodem 'tres dicti sensus scilicet uisus auditus olfactus exeunt ad instrumentis'. Perspectiua igitur ueredica est in positione radiorum egredientium. » (*De iride*, 73).

10. Bacon le cite à plusieurs reprises. Il reprend son argument majeur dans le passage: « Videmus enim quod fortes luces et colores angustant uisum et laedunt et dolorem inferunt. » (*Opus majus*, V, I, IV, 2).

11. « Tamen non est confusio istarum specierum nec mixtio nec fit unum ex eis quoniam non sunt ejusdem speciei nec ejusdem generis. » (*Opus majus*, V, I, VII, 4).

3. *La position de Pecham*

John Pecham, qui connaissait les textes d'Ibn al-Haytham, par Bacon avec certitude, et par Witelo avec de bonnes probabilités (Lindberg, 1971: 81), formule quant à lui une réponse tranchée. Acquis à la thèse de l'intromission, Pecham reprend l'argument d'Ibn al-Haytham: « L'action du visible sur l'oeil est douloureuse. Ceci est prouvé par le fait que l'action du visible sur l'oeil est d'un seul genre. L'action de lumières fortes sur l'oeil étant sensiblement douloureuse et dommageable, il s'ensuit que toutes les actions de la lumière le sont, même si elles ne semblent pas être telles.¹² » Si les corps visibles diffusent leur propre lumière, l'extramission des rayons est inutile. Sur cette base, l'Oxonien attaque tous ceux qui pensent que l'émission est nécessaire à la vue: « En postulant que la vision s'effectue au moyen de rayons sortant de l'oeil, les mathématiciens se dépensent en vain [...] Il est donc superflu de poser de tels rayons.¹³ » Il convient de remarquer que ce jugement lui est acquis, non pas en suivant directement le *De aspectibus* d'Ibn al-Haytham, mais en procédant à l'analyse systématique des textes des Platoniciens, de Saint Augustin et d'al-Kindî qui soutiennent précisément une thèse contraire à celle d'Ibn al-Haytham. Pecham reconnaît donc que les rayons émis sont inutiles à l'acte de la vision (sans nier que l'oeil puisse en émettre occasionnellement). Ce résidu de la thèse de l'extramission s'explique par l'expérience des phosphènes (argument 1), que ne renie pas Pecham, et dans lequel l'émission ne contribue pas à l'acte de vision. Pecham allègue: « Il est évident qu'il existe une forme d'émission des rayons, mais pas sur le mode platonicien tel que les rayons émis par l'oeil sont immergés dans la forme visible puis renvoyés à l'oeil en messagers.¹⁴ » Pour lui, l'extramission est accidentelle, elle n'est plus fonctionnelle.

3. Reconstruction sociologique

On constate que Grosseteste, Bacon et Pecham ont statué différemment sur le sens des rayons visuels, et ce: 1) en dépit de l'unité de temps qui caractérise la rédaction des traités; 2)

12. « Operationem uisibilis in uisum esse dolorosam. Hoc probatur quoniam operatio uisibilis in uisum est unius generis. Cum ergo operatio fortiorum lucium in uisum sit lesiva sensibiliter et dolorosa sequitur omnes lucium operationes tales esse quamuis non perpendatur. » (*Perspectiva communis*, I, 43).

13. « Mathematicos ponentes uisum fieri per radios ab oculis micantes superflue conari. Ergo superfluum est ponere sic radios. » (*Perspectiva communis*, I, 44).

14. « Sic ergo patet quoniam aliquo modo fit emissio radiorum sed non modo Platonico ut radii ab oculo emissi quasi in forma uisibili immergantur et intincti revertantur oculo nuntiantes. » (*Perspectiva communis*, I, 46).

en dépit d'une fréquentation du même *studium oxoniense*; 3) en dépit de leur commune obédience franciscaine; 4) en dépit d'un effort intellectuel exercé sur les mêmes problèmes. Le premier a adopté la thèse de l'extramission; le second a imaginé une synthèse conciliatrice; le troisième a défendu la thèse de l'intromission. Or, ce sont là des faits pour le moins contradictoires avec le postulat de la SSK, selon lequel le contenu des énoncés scientifiques est socialement déterminé. Ces contradictions apparaissent clairement lorsqu'on examine les normes de la rationalité en usage au XIII^e siècle, et les contenus qui auraient été recevables dans les réseaux auxquels appartenaient ces savants.

1. Les normes médiévales de la rationalité

La controverse que l'on vient de décrire ne s'est pas déroulée dans un espace scientifique quelconque. On admet aujourd'hui qu'un énoncé scientifique est vrai, soit parce qu'il est logiquement consistant, soit parce qu'il correspond au réel. Au Moyen Âge, le mot « vérité » n'avait pas deux, mais trois acceptions distinctes. Cette triple définition est énoncée par l'un de nos perspectivistes. Dans le *Compendium studii philosophiae*, Roger Bacon affirme: *Licet per tria scimus uidelicet per auctoritatem et rationem et experientiam*: « De façon licite [conformément à la règle], nous savons de trois façons, à savoir: par autorité, par raison et par expérience. » Même s'il dit préférer ce dernier mode de connaissance qu'est l'expérience, Bacon admet explicitement ces formes concurrentes.

Le premier sens du mot correspond à ce que nous appellerions aujourd'hui la justesse du raisonnement ou la cohérence logique [*consistency*]. Faire preuve de rationalité signifie ici que l'on fait usage des formes de raisonnement canoniques. L'inférence syllogistique, de même que les règles du *modus ponendo ponens* ou du *modus tollendo ponens*, appartiennent à cette classe. Cette qualité est requise par les Oxoniens, en particulier Bacon, qui fait des mathématiques le canon du raisonnement logique dans les sciences naturelles¹⁵. Mais comme ces formes logiques ne sont aucunement déterminées par le contenu des énoncés, elles peuvent aussi conduire à des résultats faux, si elles sont appliquées à des prémisses erronées (*Opus majus*, IV, I, 3), ce que Popper constatera incidemment en alléguant: « Il est évident que la vérité d'une

15. « Et ideo omnia praedicamenta dependent ex cognitione quantitatis de qua est mathematica et ideo uirtus tota logicae dependet ex mathematica. » Cette proposition annonce le chapitre 3: « In quo probatur per rationem quod omnis scientia requirit mathematicam [...] 8° In mathematica possumus deuenire ad plenam ue-

théorie ne saurait être inférée de sa consistance logique » (Popper, 1985: 292). C'est pourquoi ce sens devait appeler une acception complémentaire de la rationalité.

La deuxième définition du mot vérité est celle qui correspond à l'idée de preuve expérimentale: un énoncé est vrai lorsqu'il est objectivement fondé. La définition correspondantiste de Tarski (1976) en fournit une expression contemporaine: « Est vrai, ce qui correspond à la réalité et aux faits empiriques.¹⁶ » Cette définition, tout au moins sous une forme approchée, était admise comme norme de construction des énoncés médiévaux. On se souvient de la formule de Thomas d'Aquin: *adaequatio rei et intellectu*. Bacon accorde également une grande importance à l'expérience, qu'il place parfois sur un pied d'égalité avec le raisonnement, parfois même devant lui (*Opus majus*, VI: *De scientia experimentalis*).¹⁷ Il écrit dans le *Compendium studii philosophiae*: *Necesse est per rerum ipsarum experientias certificari ueritatem*, c'est-à-dire: « La vérité doit être certifiée par l'expérience des choses-mêmes. » On sait que Bacon n'a pas utilisé l'expérience aussi systématiquement qu'il le prétend, mais il faut reconnaître qu'elle lui paraît la plus essentielle des trois formes de vérité.

Enfin, l'analyse des textes scientifiques du Moyen Âge montre qu'à l'époque à laquelle s'est réactivé la controverse optique, le mot vérité pouvait aussi qualifier un énoncé rapporté à des connaissances métaphysiques ou religieuses, échappant de fait au domaine de l'expérience. La notion médiévale d'autorité est indissociable de cette acception. L'autorité concerne les Écritures — qualifiées de « Vérité première » et dont Dieu lui-même serait l'auteur (Thomas d'Aquin, *Summa theologica*, quaestio 1, 10) — la littérature patristique, puis, par extension, celle des auteurs classiques. Cette transposition n'impliqua pas toujours une confusion entre la vérité inconditionnelle des Écritures et l'autorité conditionnelle des philosophes (*Summa theologica*, quaestio 1, 8). Mais à partir de là, comme l'a justement suggéré Leclerc, « Le terme d'*auctoritas* va s'appliquer aussi bien au poids intellectuel des Classiques dans la culture profane qu'à celui des Écritures dans le savoir sacré. L'autorité, c'est le texte [...] digne de créance, voie obligée

ritatem sine errore et ad omnium certitudinem sine dubitatione quoniam in ea conuenit haberi demonstrationem per causam propriam et necessariam. Et demonstratio facit cognosci ueritatem. » (*Opus majus*, IV, I, 2-3).

16. En tenant compte des remarques de Lakatos (1994) sur l'incommensurabilité des faits et des énoncés, il faudrait dire que cette deuxième acception de la vérité s'applique à la correspondance des énoncés non pas avec le réel lui-même, mais avec les énoncés factuels que l'on tire du réel.

17. « Duo enim sunt modi cognoscendi scilicet per argumentum et experimentum. Argumentum concludit et facit nos concedere conclusionem sed non certificat neque remouet dubitationem ut quiescat animus in intuitu ueritatis nisi eam inueniat uia experientiae. » (*Opus majus*, VI, I).

vers la vérité » (1996: 99). Ainsi s'expliquent les fameux arguments d'autorité (qui ont été écartés ultérieurement des normes de la rationalité scientifique). Cette vérité-là, assez différente des deux premières, peut être rapprochée de la notion de rationalité subjective traditionnelle (Boudon, 1990). Car la valeur incontestée des textes d'Aristote ou de Saint Augustin découle d'une tradition scolastique d'étude et de discussion des textes.

Grosseteste, Bacon et Pecham durent par conséquent, en rédigeant leurs traités d'optique, certifier les énoncés en tenant compte de ces trois principes de vérité. Au XIII^e siècle, un énoncé qui n'était assuré, ni par la logique, ni par l'expérience, ni par un auteur faisant autorité, était un énoncé irrationnel. Cette position était acquise parmi les Oxoniens, comme en atteste par exemple l'analyse baconienne des causes d'erreur (*Opus majus*, I, 1).

2. *L'autorité de Saint Augustin*

Si les arguments d'autorité ont pu servir la construction régulière des énoncés scientifiques médiévaux, il convient alors de déterminer quelle autorité pouvait prendre part à une controverse sur le sens des rayons visuels, et en fonction de quoi elle pouvait y prendre part.

L'obédience religieuse des trois savants oxoniens fournit un premier indice. Bacon et Pecham ont appartenu à l'ordre franciscain. Grosseteste l'a quant à lui côtoyé de près et servi comme lecteur une partie de sa vie (1223-1235). Or, il est attesté que les docteurs franciscains ont massivement adhéré à un ensemble philosophico-religieux du nom d'augustinisme, qui correspond à une allégeance à la doctrine de Saint Augustin mêlée des sources extérieures, arabes notamment, avec lesquelles elle pouvait être combinée. L'augustinisme traditionnel signifie toujours un rejet corrélatif de l'aristotélisme. Plusieurs indices établissent ce lien entre l'ordre franciscain et l'augustinisme.

Primo, l'apogée de l'augustinisme dans les milieux du Saint-Siège coïncide avec la nomination en série de Frères mineurs au lectorat au Sacré Palais. John Pecham (1277-1279), son élève Matteo d'Acquasparta (1279-1287), puis Pietro de Falgario (1287-1291), Giovanni da Morrovalle (1291-1296), Gentile da Montefiore (1296-1300), et William of Gainsborough (1300-1302) assureront consécutivement cette charge (cf. Raynaud, 1998).

Secundo, dans une étude consacrée à l'histoire des luttes de l'aristotélisme et de l'augustinisme traditionnel, Callebaut (1925) a mis en relation la doctrine philosophique avec les décisions prises au sein des institutions ecclésiastiques, et assigné la place qui revenait à John Pecham dans ces affaires philosophico-religieuses. L'allégeance de John Pecham à

l'augustinisme est nette. Pour en donner un seul indice: le *Tractatus de perspectiva* de John Pecham s'ouvre sur les mots: *Dicit Augustinus*, avant de poursuivre par de longues citations des *Psaumes*, du *Livre de la Sagesse* et de l'*Ecclésiaste*.

Tertio, quoique moins nettes, les marques de l'augustinisme peuvent encore être repérées dans les références à Saint Augustin que l'on trouve dans l'oeuvre de Grosseteste (qui cite *De trinitate*, *sermo CLV*, etc.) ou de Bacon (qui renvoie à *De doctrina christiana*, *De musica*, *Soliloquia*, etc.) Ces marques partagées semblent à tout le moins souder l'unité doctrinale de l'école franciscaine d'Oxford.

Ensuite, les défenseurs de l'augustinisme — y compris donc Grosseteste, Bacon et Pecham — avaient quelque raison de faire valoir l'autorité de Saint Augustin sur la question de l'extramission, puisque ce dernier exprime clairement son point de vue en plusieurs passages (*De genesi ad litteram*, XII, 32; *De trinitate*, XI, IV, 4; *De musica*, VI, V, 10). Il écrit par exemple: « En premier, la lumière est diffusée à travers les yeux seuls, puis elle jaillit sous forme de rayons des yeux jusqu'à la chose visible observée.¹⁸ » Il faut insister sur le fait que cette position n'est pas un énoncé libre, qui apparaîtrait comme par hasard dans sa doctrine philosophique. L'extramission se déduit de raisons théologiques. La vision est une faculté active et complète par elle-même. Elle n'a aucunement besoin d'un influx causal extérieur, parce qu'elle est directement émanée de Dieu par le truchement de l'âme. Le danger que représentait la thèse de l'intromission est qu'elle pouvait être prise pour une négation de la puissance divine. Elle pouvait donc, sinon ruiner, du moins menacer cette idée centrale de l'augustinisme que l'on nomme l'« émanatisme ». *Première contradiction: si Grosseteste, Bacon et Pecham avaient la possibilité de déterminer théologiquement le sens des rayons par l'autorité de Saint Augustin, pourquoi ne l'ont-ils pas utilisée?* Contrairement à ce que montre un certain nombre d'études de SSK, ici le contexte politico-religieux n'a pas pesé en faveur de la thèse qui lui était favorable. Ce résultat est contraire à l'explication du règlement des controverses généralement donnée par les relativistes, par exemple Farley et Geison (1991) et Latour (1989), à propos de la génération spontanée.

Il est possible de distinguer une nuance supplémentaire dans la réception de ces thèses. Si l'on s'accorde à reconnaître que le succès d'une théorie s'explique par l'influence du contexte politico-religieux, il faut alors supposer qu'il existe au sein du réseau scientifique, des protagonistes ou des groupes sociaux dont les intérêts relayent ces préjugés extra-scientifiques. Dans la

18. « Lux primum per oculus sola diffunditur emicatque in radiis oculorum ad uisibilia contuenda. » (*De genesi ad litteram*, XII, 32).

controverse étudiée plus haut entre spontanéistes et anti-spontanéistes, la composition d'une commission d'expertise de l'Académie des Sciences « acquise à Pasteur » serait exemplaires du relais de tels intérêts. Or, bien que des intérêts sociaux liés à des croyances symboliques soient présents dans l'histoire de la controverse entre intromissionnistes et extramissionnistes, ils n'ont pas pesé aussi nettement — et dans le même sens — que dans la controverse sur la génération spontanée étudiée par Latour (1989) et Farley et Geison (1991) ou dans la controverse sur la phrénologie, dans laquelle Shapin (1979) s'applique à reconnaître l'influence d'intérêts politiques. La description exemplaire qu'on tire de l'existence de tels intérêts épouse mal le déroulement de la controverse optique. Il suffira, pour s'en persuader, de comparer attentivement les situations respectives de Bacon et Pecham.

Bacon propose une synthèse conciliatrice des deux thèses, mais il va parfois jusqu'à altérer les textes de Saint Augustin pour clarifier ou accentuer l'idée de l'extramission. Il écrit par exemple: « Car Augustin veut, en *De musica*, VI, que l'image visuelle vienne et se propage dans l'air jusqu'à la chose », proposition qui n'apparaît pas aussi nettement dans l'original¹⁹. En de tels moments, Roger Bacon écrit comme un défenseur de la position augustinienne, ce qui paraît somme toute compréhensible. Ce qui l'est moins, c'est que ce « choix » d'un synthèse à coloration augustinienne n'est pas corrélée à l'action des groupes dans le voisinage immédiat [*coreset*] du perspectiviste. Ses idées sur l'optique, qui n'étaient pas vraiment hétérodoxes, auraient dû lui valoir la protection de l'ordre. Ce ne fut pas le cas. Bacon fut mal considéré de ses supérieurs, et notamment du ministre général Girolamo d'Ascoli, au point qu'il le fit placer dix ans sous surveillance au *studium* de Paris (1257-1267) pour des raisons mal déterminées que l'on dit être des « nouveautés suspectes » [*quasdam novitates suspectas*] (Lindberg, 1983: xxv). À l'inverse, John Pecham, qui fit une critique décisive de la thèse de l'extramission, et ne se priva pas de multiples invectives, ne semble pas avoir souffert de ses prises de position parfois abruptes au sein de l'ordre franciscain. Sa carrière ecclésiastique fut des plus rapides et des plus brillantes. Reçu maître-régent à Paris en 1269, il retourne au *studium oxoniense* en 1271-1272 pour y être le onzième lecteur de l'ordre. Il est nommé ministre provincial de l'Angleterre en 1275, avant d'accéder au lectorat au Sacré Palais en 1277. *Deuxième contradiction: Bacon,*

19. Le texte original donne en effet: « Has operationes [uidere audire olfacere gustare tangere] passionibus corporis puto animam exhibere cum sentit non easdem passione recipere. » (*De musica*, VI, 10). alors que Bacon interprète: « [Augustinus] nam uult in sexto Musicae quod species uisus ueniat et uegetetur in aere usque ad rem. » (*Opus majus*, V, I, VII, 2).

ouvert à l'augustinisme, est mis sous surveillance, alors que Pecham, adepte des théories arabes invalidant l'émanatisme de Saint Augustin, devient le protégé de l'ordre. Là encore, ce résultat est en contradiction avec ceux obtenus par Shapin (1979) et Latour (1989) dans l'étude des controverses. Si les membres de l'ordre avaient agi en fonction d'intérêts sociaux liés à la croyance symbolique, ils auraient glorifié Bacon et emprisonné Pecham.

3. Questions sur le recours à l'autorité

L'agrégation des facteurs sociologiques relatifs à cette controverse — 1) les arguments d'autorité sont d'un usage régulier dans la science médiévale; 2) les Franciscains souscrivent à l'augustinisme; 3) l'augustinisme préconise la thèse de l'intromission — aurait pu former le canevas d'une étude relevant de l'approche relativiste qui postule une détermination sociale des énoncés. Pourtant cette agrégation n'explique pas: pourquoi les textes de Grosseteste, de Bacon et de Pecham expriment un désaccord; pourquoi Bacon et Pecham ont adhéré, en partie ou en totalité, à la thèse de l'intromission; pourquoi leur statut au sein de l'ordre varie en fonction inverse, et non pas directe, de leur degré d'affiliation à la thèse de l'extramission.

[²⁰Ces difficultés font manifestement pressentir un traitement rationnel de la question du sens des rayons. Cette idée soulève toutefois une objection qu'il convient tout d'abord de lever: l'adoption de l'intromission ne peut-elle pas s'interpréter comme une substitution de l'autorité d'Ibn al-Haytham à celle de Saint-Augustin? Auquel cas, Bacon et Pecham n'auraient pas admis cette thèse par référence à l'expérience et à la logique, mais seulement en fonction du nouveau consensus qui était en train de s'instaurer autour des auteurs arabes — selon des règles de préférence doctrinale absolument identiques à celles qui auraient dû conditionner l'adhésion des Oxoniens à Saint-Augustin. Le seul fait qui puisse appuyer cette thèse est un certain parallélisme entre la diffusion de l'optique arabe en Occident et l'adhésion progressive à la thèse de l'intromission. Grosseteste refuse cette thèse en 1240, Bacon l'admet à moitié en 1262, Pecham la défend entièrement en 1279. Or, ce progrès coïncide assez bien avec le degré de pénétration du *De aspectibus* d'Ibn al-Haytham. Grosseteste ne le cite jamais, Bacon s'y réfère en plusieurs parties, Pecham le connaît par les travaux de Bacon et de Witelo, et sans doute directement par les traductions de Wilhelm de Moerbeke (Paravicini Bagliani, 1975). À mesure que les docteurs ont eu la possibilité d'étudier et de discuter ses travaux, leur position s'est assimilée à celle du savant arabe. Mais était-ce par l'autorité d'Ibn al-Haytham, ou bien

parce que le caractère rationnel de ses arguments était à même de faire valoir ses conclusions *contre* celle de Saint-Augustin? Les Oxoniens ont-ils admis sa thèse par allégeance ou par jugement rationnel? L'étude du contexte et des enjeux de ces traductions suffit à montrer qu'elles n'étaient pas destinées à détrôner l'autorité des penseurs chrétiens. En effet: 1) La plupart étaient réalisées par et pour les cercles ecclésiastiques: on notera ainsi que le traducteur Wilhelm de Moerbeke exerçait à la cour pontificale. 2) Si l'autorité d'Ibn al Haytham s'était substituée à celle de Saint-Augustin, on devrait observer une décroissance corrélative des citations de ce dernier dans les oeuvres de Grosseteste, Bacon et Pecham. Or, c'est le contraire qu'on observe. 3) Si la thèse de l'intromission avait été atteinte par un argument d'autorité, les textes des Oxoniens n'auraient pas fait cas des raisonnements géométriques et des expériences d'optique. Ce dernier point peut être invalidé par une série de remarques.

On se rendra compte du degré de développement des raisonnements logiques et géométriques à la lecture des traités de Bacon et Pecham. Dans un vaste panorama consacré aux « styles de pensée scientifique », Crombie insiste longuement sur le développement de la logique médiévale (1994: 313-423) à partir des commentaires d'Aristote. Il note que la forme du raisonnement par l'absurde [*reductio ad contradictionem* ou *ad absurdum*] était souvent prisée à Oxford. Outre les catégories de la logique, les distinctions entre certitude et habitude conjecturale [*certitudo, conjecturativus habitus*], induction et déduction [*inductio, postulatio*], les notions de postulat, d'inférence, de preuve [*suppositio, argumentum, probatio*] y sont d'un usage courant. Quant au rôle de l'expérience, il est également attesté. Bacon fait fabriquer des miroirs et s'inquiète du coût des instruments²¹. Pecham imagine des dispositifs de projection de la lumière (*Perspectiva communis*, I, 5-7), connaît la chambre obscure à la suite d'Ibn al-Haytham, fait des expériences de réfraction, etc. L'étude de Crombie (1994: 313-423) apporte d'utiles précisions sur la terminologie constitutive de la connaissance expérimentale [*cognitio experimentalis*] qui avait cours au Moyen Âge: *inductio, modus procedendi, probatur, falsificatur*, etc. Il n'est pas indifférent de constater que l'historien emprunte ici la plupart de ses exemples à l'optique d'Ibn al-Haytham ou de ses commentateurs latins, Roger Bacon et John Pecham.

20. Les passages entre crochets [...] ne figurent pas dans *l'Année sociologique*.

21. « Primum enim speculum consistit 60 libris parisiensium que ualent circiter 20 libras sterlingorum et postea feci fieri melius pro 10 libris parisiensium [...] et postea diligentius expertus in his percepi quod meliora possent fieri pro duobus marcis uel 20 soldis et adhuc pro minore. » (Royal Library, ms. 7 F VIII, fol. 4).

On conviendra que la reproduction d'un argument d'autorité n'exigeait pas tant de précautions logiques et expérimentales. Il suffisait d'énoncer le thèse en la référant à son auteur. C'est pourquoi il convient maintenant de considérer la réponse intromissioniste comme le résultat d'une activité rationnelle.

4. *Un choix rationnel?*

Il a été dit plus haut que les arguments des partisans de l'extramission et de l'intromission laissaient percevoir des différences quantitatives et qualitatives. La comparaison des arguments montre notamment que certains d'entre eux pouvaient être facilement réfutés. Il en va ainsi des arguments 1 (existence des phosphènes) et 4 (phosphorescence des yeux du chat) qui sont directement contredits par l'argument 1' (absence de vision nocturne chez l'homme). Le mode de vision des félins n'est pas transposable à l'homme; l'existence des phosphènes ne prouve pas que la vision se fait par extramission pure, mais seulement que le feu intérieur peut « collaborer » à la perception visuelle. Par ailleurs, alors que les arguments 1', 2' et 4' n'étaient pas opposables, les arguments 3, 5 et 6 pouvaient — sans être nécessairement rejetés — apparaître de nature conjecturale. L'argument 3 peut être réinterprété dans le cadre intromissioniste, si l'on avance que la sphéricité est une condition nécessaire du mouvement de l'oeil dans son logement plutôt qu'une condition de l'émission des rayons visuels. L'argument 6 est opposable sur la base d'observations de sujets souffrant d'exophtalmie mais possédant une bonne vue. Par conséquent — et sans aucunement préjuger de l'adhésion effective à ces idées — les arguments de l'extramission, quoique plus nombreux, se prêtaient plus facilement à la critique, ce qui pourrait expliquer le succès de la thèse intromissioniste.

Il reste qu'au XIII^e siècle, l'intromission des rayons visuels a été dérivée d'un raisonnement partiellement contestable. L'argument 3' (propagation dans le temps) présente en effet une difficulté résiduelle. Cet argument, qui met en rapport une proposition de physiologie oculaire (comment voit-on?) avec une proposition d'optique physique (comment la lumière se propage-t-elle?) adopte la forme d'un raisonnement par l'absurde [*reductio ad contradictionem*]. La thèse de l'extramission implique qu'à l'ouverture de l'oeil, le rayon visuel doit s'acheminer vers le visible avant de revenir vers l'oeil. Dans ces conditions, l'oeil devrait percevoir les objets proches avant de percevoir les objets lointains, ceux-ci supposant une plus grande distance à franchir, et, par conséquent, une durée de traversée du médium plus importante avant que le rayon afférent ne retourne dans l'oeil. Le visible devrait donc se révéler à la vue par « couches con-

centriques », l'arbre apparaissant avant les nuages, les nuages avant les étoiles, etc. L'expérience prouvant le contraire (l'arbre, les nuages et les étoiles apparaissent simultanément), la thèse de l'extramission est réfutée [*refellitur*]. L'argumentation semble implacable, mais elle s'appuie sur une « hypothèse additionnelle » relative à la propagation de la lumière. La plupart des opticiens du Moyen Âge ont supposé, à l'instar de Platon, Héron d'Alexandrie, al-Bîrûnî, al-Fârisî ou Ibn al-Haytham, que la lumière a une vitesse finie, et qu'elle peut être affectée par la densité des milieux qu'elle traverse. Cette position est notamment celle de Roger Bacon et de John Pecham à Oxford. Dans l'*Opus majus* (*pars V: Perspectiva*), le premier écrit: « Si donc la propagation de la lumière se faisait instantanément et non temporellement, il y aurait instant sans temps, parce que le temps n'existe pas sans mouvement. Mais il est aussi impossible [de concevoir] l'instant sans le temps que le point sans la ligne. Il reste donc que la lumière se propage dans le temps, et pareillement de toutes les images des corps visibles et de la vision. Elle n'est toutefois pas sensible dans le temps et perceptible à la vue, mais insensible [...]»²² » Bacon se fonde sur un argument géométrique pour assurer l'idée d'une propagation temporelle de la lumière, où transparaît une conception atomique de l'espace et du temps: de même que le point est toujours en réalité un petit segment, de même l'instant est-il toujours un petit intervalle de temps. John Pecham admet aussi cette thèse, même s'il ne la justifie pas par un raisonnement de type géométrique²³. Mais d'autres perspectivistes supposaient au contraire — sur le mode aristotélien d'une « lumière asomatique » (*De sensu et sensato*, 447 a) — que le rayon lumineux se propage avec une vitesse infinie. Dans le commentaire qu'il propose du *Fiat lux*, Saint Basile s'ouvre incidemment sur cette question: « En haut, [la lumière] parvint jusqu'à l'éther et jusqu'au ciel; elle illumina en largeur toutes les parties du monde [...] en

22. « Si ergo lucis multiplicatio est in instanti et non in tempore erit instans sine tempore quia tempus non est sine motu. Sed impossibile est instans esse sine tempore sicut nec punctum sine linea. Relinquitur ergo quod lux multiplicatur in tempore et omnes species rei visibilis et visus similiter. Sed tamen non in tempore sensibili et perceptibili a visu sed insensibili [...] » (*Opus majus*, V, I, IX, 3).

23. « Omnia que videntur tempore comprehendi. Immutatio enim sensibilis non fit nisi in tempore sicut decem illusiones sensuum in ueloci quorundam transportatione. » (*Perspectiva communis*, I, 53). On notera, au contraire, que Grosseteste semble soutenir la thèse d'une propagation instantanée de la lumière. C'est ce que laisse entendre la traduction de Lindberg (1976): « A point of light will produce instantaneously a sphere of light [...] by multiplying itself instantaneously in every direction [...] » Mais le texte latin donne seulement: « [...] a puncto lucis sphaera lucis quamuis magna subito generatur [...] seipsam multiplicando et in omnem partem subito se diffundendo [...] » (*De luce*, 51), où subito peut aussi bien être traduit par « aussitôt; promptement », annulant l'idée d'une propagation instantanée chez Grosseteste.

un bref instant. Car telle est sa nature, à savoir subtile et diaphane, en sorte que la lumière ne nécessite aucun délai de temps pour traverser [l'espace].²⁴ » D'autres, comme William Gilbert, l'auteur du célèbre *De magnete*, ou comme Caspar Schott (*Magia universalis*, I, 72) ont soutenu l'idée d'une propagation instantanée de la lumière. Or, cette hypothèse aditionnelle annule purement et simplement la contradiction initiale. À ce point, deux observations s'imposent.

Primo, la question de la propagation temporelle ou instantanée de la lumière était indécidable dans le cadre médiéval. La première expérience pour mesurer la vitesse de la lumière fut proposée par Galilée en 1638 (*Discours concernant deux sciences nouvelles*, I, 87-88). Mais, trop rudimentaire²⁵, cette expérience ne pouvait aboutir qu'à une conclusion intuitive sur le caractère temporel de la propagation lumineuse. En fait, la première mesure fiable de la vitesse de la lumière fut effectuée par Römer, qui put la déduire de l'observation des éclipses des satellites de Jupiter (1676). Au XIXe siècle, on abandonna les observations astronomiques pour des dispositifs terrestres plus commodes et dont l'idée générale consistait à étudier l'occultation périodique d'un faisceau lumineux. Fizeau utilisa la méthode de la roue dentée (1849), Foucault, la méthode du miroir tournant (1850). De telles mesures étaient évidemment inaccessibles à l'expérience médiévale.

Secundo, si d'occasion la vitesse de la lumière avait été, non pas finie, mais infinie, *cette preuve aurait réfuté à parts égales la thèse de l'intromission et celle de l'extramission*, au profit d'une troisième thèse jadis soutenue par Hunayn Ibn Ishâq (notée $\neg E, \neg S$). En effet, l'idée d'une propagation instantanée signifie que le rayon visuel occupe simultanément ses deux extrémités: l'oeil et l'objet visible. Il n'y a donc aucun mouvement, ni dans un sens, ni dans l'autre. L'argument de

24. « Sursum enim ad ipsum usque aethera et usque ad celum peruenit, in latitudine uero omnes mundi partes [...] in breui temporis momento illuminabat. Talis est enim ipsius natura tenuis scilicet et pellucida, adeo ut lux per ipsum transiens nulla temporis mora indigeat » (*Hexaemeron*, homilia II, 7).

25. Cette expérience consistait à demander à deux observateurs, séparés de quelques coudées (une coudée valant 50 cm), de synchroniser le mouvement d'occultation d'une chandelle en fonction de l'occultation apparente de l'autre chandelle. Les deux observateurs devaient ensuite répéter la même opération, étant éloignés de deux ou trois milles (5 km) puis de huit ou dix milles (15 km), en observant, au besoin, la chandelle avec une petite lunette astronomique. Si le rythme d'occultation était le même, quelle que soit la distance, cela signifiait que la lumière se propageait instantanément. Si le rythme variait en fonction de la distance, c'était une preuve de la propagation temporelle de la lumière. Galilée avoue n'avoir effectué cette expérience « que sur de petites distances » (*Discours*, I, 88), aussi se résout-il à trancher la question par une solution intuitive et analogique, fondée sur l'observation de la propagation de l'éclair: « J'en déduis que son mouvement occupe un certain temps, car si

la vision instantanée ne pouvait donc pas être utilisé par les extramissionnistes, sous peine de ruiner également leur propre thèse. Il existait donc, au XIII^e siècle, des arguments entachés d'incertitude de part et d'autre, mais *cette incertitude était asymétrique*, dans la mesure où certains arguments extramissionnistes pouvaient être récupérés dans le cadre intramissionniste, alors que le contraire était impossible. La supériorité de la thèse de la réception oculaire tient donc à ce qu'elle était assortie d'une seule hypothèse additionnelle, fort raisonnable.

Le choix rationnel s'est donc construit sur une asymétrie dépendant du stock argumentaire, lui-même conditionné par la disponibilité des textes. Car si la thèse de l'intramission est devenue plus vraisemblable au XIII^e siècle, c'est en raison de l'asymétrie argumentative causée par la diffusion de l'optique arabe, et, en particulier, du traité *De aspectibus* d'Ibn al-Haytham. Du point de vue formel, l'asymétrie exigeait *le remplacement d'une proposition synthétique par une autre proposition synthétique plus vraisemblable*²⁶. Si l'on considère l'adhésion à ces théories, nous sommes en présence d'un cas typique de « révision des croyances » [*belief revision*], phénomène qui a fait l'objet de nombreuses études (Gärdenfors, 1992; Walliser et Zwirm, 1997). Si l'on applique la typologie de Walliser et Zwirm (1997), le rejet de la thèse extramissionniste relève d'une révision des croyances par « rectification »²⁷. Dans le sillage des analyses de Radnitzky (1987), Boudon (1990: 149) examine pour sa part plusieurs cas où une question scientifique a été tranchée avant d'avoir une preuve décisive de sa solution — comme la question de la rotondité de la terre. Ce type de règlement anticipé se présenterait chaque fois qu'il existe un ensemble *fermé* de théories concurrentes (et non pas *ouvert*, comme le voudrait une lecture poppé-

l'illumination était instantanée et non progressive, je ne crois pas que l'on pourrait distinguer son origine [...] des points extrêmes de son expansion » (*Discours*, I, 89).

26. Nous omettons ici de distinguer, après Popper (1985: 349-351), la « probabilité » (subjective) d'une théorie, c'est-à-dire la propension à ce qu'elle soit crue, avec sa « vérisimilarité » (objective), c'est-à-dire sa tendance à décrire adéquatement les structures du réel. Le rejet de la thèse extramissionniste avance ici sur les deux fronts, ce qui n'est bien sûr pas le cas de toutes les théories (il existe des théories fausses tenues pour vraies; des théories proches de la vérité mais peu consensuelles).

27. Les auteurs distinguent trois modes de révision: l'« actualisation » [*updating*], qui s'impose quand la connaissance est réadaptée à des structures objectives changeantes; la « focalisation » [*focusing*], qui suppose la transformation des connaissances quand la théorie générale est en défaut d'expliquer un cas particulier; enfin la « rectification » [*revising*], qui est rendue nécessaire chaque fois que la connaissance initiale est en désaccord avec ce que l'on apprend du réel (sans changement).

rienne orthodoxe)²⁸. Le cas de deux théories mutuellement exclusives en est l'exemple le plus typique, dans la mesure où l'on peut alors appliquer une règle de déduction disjonctive ($p \vee q$, si $\neg p$, alors q). Le règlement de l'opposition entre les théories extramissioniste et intromissioniste se rapproche de ce type. Même si les différents modèles de la révision des croyances ne coïncident pas exactement, ils montrent uniformément que le rejet de la thèse augustinienne peut s'expliquer par un choix rationnel qui n'a nullement besoin de convoquer le jeu d'une détermination externe.

4. Conclusions

À l'inverse de ce que prédit une reconstruction sociologique inspirée par les principes du relativisme, les positions intromissionistes ont été acquises par un examen rationnel du problème *contre* l'influence de facteurs extra-scientifiques. C'est pourquoi, en définitive, il existe un désaccord si criant entre les principes du relativisme et les propositions que nous avons démontrées (absence de consensus entre les Oxoniens; délaissement de la doctrine augustinienne; accession d'un défenseur de l'intromission aux plus hautes fonctions de l'ordre).]

Pour résoudre ces difficultés, il faut émettre l'hypothèse que les postulats de l'« Empirical Programme of Relativism » de Collins (1981), qui succède au « Strong Programme » de Bloor (1976), ont une valeur contestable et que les controverses dans lesquelles il y a détermination sociale des contenus scientifiques sont loin d'être une généralité. La controverse sur le sens des rayons visuels obéit à un enchaînement manifestement différent. Car l'optique médiévale présente cette particularité d'être à la fois un lieu de controverse où *les connaissances auraient dû être socialement déterminées par des facteurs théologiques, mais ne l'ont pas été*. Les opticiens ont préféré la logique et l'expérience aux arguments d'autorité. À rebours, cette évidence questionne la lecture relativiste de l'influence des facteurs politico-religieux sur les contenus scientifiques dans le cadre de la science institutionnelle (où les arguments d'autorité n'ont plus cours), et ne re-

28. Le développement proposé sur les théories mutuellement exclusives est logiquement irréprochable, mais les cas qui s'y soumettent sont sans doute assez peu fréquents. L'auteur observe incidemment sur l'exemple choisi: « Il faut ajouter que la Terre, en fait, n'est pas vraiment ronde (ainsi, elle est aplatie aux pôles). La théorie [...] peut donc être remplacée par une meilleure théorie et il n'y a pas de limite à la précision avec laquelle on peut décrire sa forme. » (Boudon, 1990: 149). C'est donc que les idées de Popper sur la concurrence entre théories appartenant à un monde ouvert et sur la vérissimilarité s'appliquent ici, en dépit de la construction subjective d'une alternative (Boudon, 1990: 194-195).

pose qu'avec plus d'acuité le problème de l'historicité *vs.* l'ahistoricité des normes de la rationalité.

1) Une opposition s'est créée entre relativistes et rationalistes, les uns prétendant soumettre, les autres prétendant soustraire les énoncés à l'analyse sociologique. L'étude de la controverse entre intramissionnistes et extramissionnistes fait apparaître que le débat de la SSK sur la détermination sociale des contenus est peut-être mal fondé. Il convient en effet de garder à l'esprit que les contenus ne sont pas homogènes entre eux, puisqu'on peut déjà les partager en énoncés factuels *vs.* théoriques, comme le propose Lakatos (1994). On peut également distinguer des énoncés testables *vs.* non-testables. Les énoncés testables sont ceux qui peuvent être jugés logiquement ou empiriquement. Si je prétends que « Le renforcement de l'oeil cause une vue perçante », l'expérience m'apprendra qu'il existe des voyants et des aveugles aux yeux exorbités; des voyants et des aveugles aux yeux renforcés dans les orbites. Si je dis que « À l'ouverture de l'oeil, je devrais voir le proche avant le lointain si l'oeil émettait un rayon visuel », je peux montrer que cette proposition est logiquement vraie. De tels énoncés sont testables. Lorsqu'ils sont testés, ils sont vrais ou faux (erreurs d'observation ou failles logiques). S'ils sont faux, la sociologie peut éventuellement dire quelque chose des facteurs extra-scientifiques qui ont conduit à l'erreur.

Quant aux énoncés non-testables, ils peuvent intervenir en deux endroits d'une théorie: sur les axiomes et les postulats, qui ne sont pas discutés par la communauté scientifique par suite d'une convention arbitraire ou d'une norme scientifique; dans le cours du raisonnement, déterminant alors des exemples ou des hypothèses *ad hoc*. Les énoncés non-testables ne se soumettent pas de la même manière à l'analyse sociologique, car ces énoncés ne font partie d'une théorie scientifique que « marginalement », puisque leur valeur de vérité ne peut être établie. Ces énoncés sont, au sens propre, a-scientifiques. En cela, la sociologie peut éventuellement dire quelque chose des intérêts ou des croyances symboliques qui ont conduit à les adopter plutôt que d'autres. Lorsque je dis: « Socrate est un homme, tout homme est mortel, donc Socrate est mortel », je n'ai pas le droit de m'interroger sur la détermination sociale du syllogisme. Par contre, je peux me demander pourquoi la logique choisit un exemple qui concerne la mortalité humaine pour exposer la forme du syllogisme. Cet exemple m'informerait qu'à l'époque où l'on a prononcé cette phrase pour la première fois, la logique et la philosophie morale étaient pratiquées par un seul et même homme nommé « philosophe ».

Cette distinction montre que seuls peuvent faire l'objet d'une analyse sociologique: les erreurs d'observation, les failles logiques; les axiomes, les postulats, les exemples et les hypothèses ad hoc. La première classe (erreurs et failles logiques) relève de la sociologie des sciences classique. La seconde montre qu'une analyse des contenus scientifiques est toujours envisageable. Elle précise toutefois qu'il ne s'agit pas de soumettre n'importe quel énoncé à n'importe quelle influence extra-scientifique. Par ailleurs, cette distinction échappe à la critique rationaliste, puisqu'elle ne se focalise plus que sur les propositions a-scientifiques qui collaborent à une théorie scientifique.

2) Une opposition s'est créée entre rationalistes et relativistes à propos de l'historicité *vs.* l'anhistoricité des normes de la rationalité. Or en un temps éloigné qui n'est même pas celui de la science institutionnelle, puisqu'on y relève trois acceptions du mot «vérité», la science ne semble suivre que les règles de la rationalité objective (correspondance au réel) et de la rationalité formelle (consistance logique). Cette évidence est nettement en faveur de l'anhistoricité des normes de la rationalité. Elle montre que les savants du Moyen Âge repoussaient les arguments d'autorité quand la question posée pouvait être déterminée par la logique et l'expérience. Cette hiérarchie — déjà admise par Bacon — explique pourquoi l'on retrouve les mêmes procédures pour départager le vrai du faux dans des contextes socio-historiques très différents. On s'étonnera donc que des sociologues et des épistémologues rejettent avec assurance tout critère anhistorique de la rationalité. La position récente de Stengers (1993: 84) semble pouvoir s'expliquer par un texte plus ancien, dont il convient de rappeler l'argument: la science n'est qu'une « tradition », et « tout travail innovant prend le risque de modifier la tradition, et la définition de la rationalité dont elle est porteuse » (1988: 62). On pourrait ici reprocher à Stengers, et aux sociologues qui partagent son point de vue, que la transformation dont il est ici question ne concerne pas les *normes* de l'activité scientifique, mais seulement les *contenus* des théories scientifiques. Personne ne niera que les connaissances scientifiques sont sujettes au changement, mais elles peuvent très bien changer sans que l'on soit contraint d'admettre que les normes qui dirigent la construction de ces énoncés accusent eux aussi une transformation. Sans cette distinction, on est réduit à confondre le fond et la forme, c'est-à-dire les énoncés rationnels (qui changent à chaque innovation importante) et les normes de rationalité (qui se soustraient à un tel changement). Les règles du syllogisme ou du *modus ponendo ponens* ne changent pas à chaque saison, et n'ont d'ailleurs aucune raison de le faire. Adeptes du relativisme cognitif, Stengers est contrainte de ne plus faire de différence entre la

science et les mythes (Stengers, 1993). Cette position de principe relativiste n'est pas seulement contredite par des exemples de controverses, qui, à l'instar de celle qui a agité l'optique médiévale, se concluent rationnellement, sans détermination politico-religieuse des contenus. Elle se heurte également au très ancien argument de rétorsion: si la vérité est une illusion, sur quelle base devrais-je croire le sophiste qui m'assure qu'elle n'existe pas?

En définitive, il n'est pas contradictoire d'envisager une analyse des contenus scientifiques (comme le proposent les relativistes) qui respecte le caractère anhistorique des normes de la rationalité (comme le proposent les rationalistes). Il suffit de circonscrire l'analyse sociologique aux *failles logiques, axiomes, postulats, et hypothèses ad hoc* qui apparaissent dans une théorie.

Bibliographie

- Roger Bacon, 1859, *Opera quaedam hactenus inedita*, vol. 1. Edited by J.S. Brewer. London: Longman, Green and Roberts.
- Roger Bacon, 1964, *The 'Opus Maius' of Roger Bacon*, edited with introduction and analytical table by J.H. Bridges, Frankfurt am Main, Minerva GmbH.
- David Bloor, 1976 [1983], *Sociologie de la logique ou les limites de l'épistémologie*, Paris, Pandora.
- Raymond Boudon, 1990, *L'art de se persuader des idées douteuses, fragiles ou fausses*, Paris, Fayard.
- André Callebaut, 1925, Jean Pecham, OFM et l'augustinisme: aperçus historiques (1263-1285), *Archivum franciscanum historicum*, 18: 441-472.
- Harry Collins et Trevor Pinch, 1994, *Tout ce que vous devriez savoir sur la science*, Paris, Éditions du Seuil.
- John Farley et Gerald L. Geison, 1991, Le débat entre Pasteur et Pouchet: science, politique et génération spontanée au XIXe siècle en France, M. Callon et B. Latour, *La science telle qu'elle se fait*, Paris, La Découverte, 87-145 [1974].
- Galileo Galilei, 1970, *Discours et démonstrations mathématiques concernant deux sciences nouvelles*, traduction et notes par Maurice Clavelin. Paris, Armand Colin [1638].
- Peter Gärdenfors, ed., 1992, *Belief revision*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Robert Grosseteste, 1912, [*De luce seu de inchoatione formarum, De lineis angulis et figuris seu de fractionibus et reflexionibus radiorum, De iride seu de iride et speculo*], L. Baur, Die philosophischen Werke des Robert Grosseteste, *Beiträge zur Geschichte der Philosophie des Mittelalters*, 9: 1-778.
- Imre Lakatos, 1994, *Histoire et méthodologie des sciences*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Bruno Latour, 1989, Pasteur et Pouchet: hétérogenèse de l'histoire des sciences, M. Serres, *Éléments d'histoire des sciences*, Paris, Bordas: 423-445.
- Gérard Leclerc, 1996, *Histoire de l'autorité. L'assignation des énoncés culturels et la généalogie de la croyance*, Paris, Presses Universitaires de France.
- David C. Lindberg, 1971, Lines of influence in the thirteenth century optics: Bacon, Witelo, and Pecham, *Speculum*, 46: 66-83.

- 1976, *Theories of vision from Al-Kindi to Kepler*, Chicago & London, The University of Chicago Press.
 - 1983, *Roger Bacon's philosophy of nature: a critical edition with English translation, introduction and notes of the 'De multiplicatione specierum' and 'De speculi comburentibus'*, Oxford: Clarendon Press.
 - 1995, Medieval science and its religious context, *Osiris*, 10: 61-79.
- Charles Mugler, 1964, *Dictionnaire historique de la terminologie optique des Grecs*, Paris, Librairie C. Klincksieck.
- Agostino Paravicini Bagliani, 1975, Witelo et la science optique à la cour pontificale de Viterbe (1277), *Mélanges de l'École française de Rome*, 87, 2: 425-453.
- John Pecham, 1970, *John Pecham and the science of optics: Perspectiva communis*, edited by D.C. Lindberg, Madison, Wisconsin University Press.
- 1972, *Tractatus de perspectiva*, edited with an introduction and notes by D.C. Lindberg, New York, The Franciscan Institute.
- Karl R. Popper, 1985, *Conjectures et réfutations, la croissance du savoir scientifique*. Paris, Payot.
- Gérard Radnitzky, 1987, La perspective économique sur le progrès scientifique: application en philosophie de la science du modèle coût-bénéfice, *Archives de philosophie*, 50: 177-198.
- Dominique Raynaud, 1998, *L'hypothèse d'Oxford: essai sur les origines de la perspective*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Niels Roll-Hansen, 1979, Experimental method and spontaneous generation: The controversy between Pasteur and Pouchet, *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences*, 34: 273-292.
- Steve Shapin, 1979, Homo phrenologicus: anthropological perspectives in an historical problem, B. Barnes & S. Shapin, *Natural ordre: historical studies of scientific culture*, London, Sage: 41-71.
- Isabelle Stengers, 1993, *L'invention des sciences modernes*, Paris, La Découverte.
- et Judith Schlanger, 1988, *Les concepts scientifiques*, Paris, La Découverte.
- K. H. Tachau, 1988, *Vision and certitude in the age of Ockam: Optics, epistemology and the foundations of semantics 1250-1345*. Leiden, E.J. Brill.
- Lyne Thorndike, 1923, *History of magic and experimental science during the first thirteenth centuries of our era*, vol. 2, New York, MacMillan Co.
- Dominique Vinck, 1995, *Sociologie des sciences*, Paris, Armand Colin.
- Bernard Walliser & Denis Zwirm, 1997, Les règles de révision des croyances, Jean-Pierre Dupuy et Pierre Livet, eds., *Les limites de la rationalité*, tome 1: *Rationalité, éthique, cognition*, Paris, Éditions de la Découverte, 190-208.