

logo not found or type unknown

Title Les audaces de la physique arabe du XII^e siècle dans la synthèse d'Abū
I-Barakāt al-Baghdādī (m. 1152) / Sylvie Nony

Contained in MIDÉO : Mélanges de l'Institut dominicain d'études orientales du Caire
/ Direction : Georges Shehata Anawati, (puis) Régis Morelon, (puis)
Emilio Platti, (puis) Emmanuel Pisani, (puis) Dennis Halft

Volume 29 (2012)

pages 27-50

URL <https://ideo.diamondrda.org/manifestation/183645>

LES AUDACES DE LA PHYSIQUE ARABE DU XIII^E SIÈCLE
DANS LA SYNTHÈSE D'ABŪ L-BARAKĀT
AL-BAGHDĀDĪ (M. 1152)

par

Sylvie NONY

CHSPAM/SHERE de l'Université Paris VII

Cet article se propose de résumer et de mettre en perspective¹ des travaux de recherche menés de 2007 à 2010 à la bibliothèque de l'IDEO² du Caire et exposés dans une thèse de doctorat soutenue fin 2010³. Ma thèse consistait en la traduction et le commentaire de la *Physique* d'Abū l-Barakāt, médecin-philosophe à Bagdad au VI^e/XII^e siècle (464-547/1072-1152). Elle s'est focalisée sur les théories rendant compte de la variation du mouvement (accélération, décélération) des projectiles. L'étude de ces théories montre que la philosophie naturelle d'Abū l-Barakāt est une œuvre originale sur bien des points, qui se démarque nettement de la physique aristotélicienne. Nous souhaiterions mettre aussi en évidence qu'elle réalise une synthèse très aboutie de la critique néoplatonicienne de son temps et des apports d'autres disciplines dont les mathématiques et le *kalām*. Elle donne en outre à relire l'histoire de la physique

-
1. Je remercie ici Guillaume De Vaux pour ses conseils quant à l'exposé de cette « mise en perspective ».
 2. Que les dominicains du Caire trouvent ici l'expression de ma reconnaissance pour la qualité de leur accueil, la permanence de leur sollicitude et de leurs encouragements et tout simplement leur gentillesse.
 3. NONY, Sylvie, *Abū l-Barakāt al-Baghdādī, une physique de la variation du mouvement à Bagdad, au XII^e siècle*, thèse de doctorat en Histoire et Philosophie des Sciences soutenue à Paris-Diderot/Paris 7, sous la direction de Regis Morelon et Ahmed Hasnaoui, laboratoire SPHERE, Paris, 2010.

pré-galiléenne dont les ^v^e et ^{vi}^e/^xⁱ^e et ^{xii}^e siècles en Orient constituent une étape largement ignorée.

Cette œuvre a pourtant fait l'objet dans la première moitié du ^{xx}^e siècle de deux grosses études par Schlomo Pines⁴. Bien que ces recherches soient quelque peu datées, leur érudition et leur précision sont, aujourd'hui encore, incontournables. La *Physique* d'Abū al-Barakāt s'oppose pour une large part à celle contenue dans le *Kitāb al-Shifā'* (Livre de la guérison) d'Avicenne (m. 428/1037) dont Ahmed Hasnaoui a entrepris la traduction et l'étude doctrinale et à propos de laquelle il a publié plusieurs études⁵. Cette physique du *Shifā'* vient en outre d'être traduite en anglais et commentée par Jon McGinnis⁶. Nous disposons donc aujourd'hui d'un grand nombre de textes et d'études pour situer l'apport d'Abū l-Barakāt à la philosophie et aux sciences de la Nature de son siècle. Le dynamisme de ce ^{xii}^e siècle oriental, dont on a souvent dit qu'il était celui d'un irréversible déclin, mérite d'être mieux connu.

De fait, nombre d'études en histoire et philosophie des sciences ont braqué les projecteurs sur l'Espagne musulmane de la même époque, celle d'Ibn Rushd (Averroès), d'Ibn Bājja (Avempace) et quelques autres. Il y a pourtant à Bagdad au même moment, des avancées scientifiques dont on ne trouve pas d'équivalent en histoire de la physique médiévale avant le ^{xvi}^e siècle en Italie. De nombreuses études permettent de préciser le contexte philosophique qui a permis une telle éclosion et j'essaierai d'intégrer à cette analyse celles qui sont postérieures à ma thèse.

I. ABŪ L-BARAKĀT AL-BAGHDĀDĪ

Les grands biographes arabes des ^{xii}^e et ^{xiii}^e siècles nous ont laissé des indications, parfois contradictoires, sur ce médecin juif né à Balad près de Mossoul qui vécut l'essentiel de sa vie à Bagdad au temps où le sultanat seljoukide cohabitait avec le

4. PINES, Shlomo, «Études sur Awḥad al-Zamān Abū l-Barakāt al-Baghdādī», dans *Revue des études juives*, 103 (1937) pp. 3-64, et 104 (1938) pp. 1-33, repr. in (éd.) Stroumsa S., *Collected Works of Shlomo Pines*, 5 vol., The Hebrew University Magnes Press, Jerusalem-Leiden, (1979) 2000, vol. I, pp. 1-95. Pines S. «Nouvelles études sur Awḥad al-Zamān Abū l-Barakāt al-Baghdādī», *Mémoires de la Société des études juives*, Paris vol. I, 1955, repr. in (éd.) Stroumsa S., 5 vol. *Collected Works of Shlomo Pines*, The Hebrew University Magnes Press, Jerusalem-Leiden, (1979) 2000, vol. I, pp. 96-174.
5. HASNAOUI, A., «La dynamique d'Ibn Sīnā, la notion d'inclination: *mayl*», in *Études sur Avicenne*, Paris, Les Belles Lettres, 1984. «Aspects de la synthèse avicennienne», in *Penser avec Aristote*, ouvrage publié avec le concours de l'Unesco, éd. Erès, Toulouse, 1991. «La définition du mouvement dans la physique du Shifā' d'Avicenne», in (éd.) R. Rashed & A. Hasnaoui, *Arabic Sciences and Philosophy*, vol. II, Cambridge University Press, 2001.
6. AVICENNA, *The Physics of the Healing* 1-2, Mc Ginnis J. (transl.), Islamic Translation Series, ed. Brigham Young University Press, 2010.

califat abbasside⁷. Ces renseignements sont discutés dans ma thèse et plusieurs concordent pour situer le décès du philosophe en même temps que celui du sultan Mas'ūd dont la date est précisément connue, soit en 547/1152. Cet événement permet de replacer sa date de naissance, sur la base d'une durée de vie de quatre-vingts années solaires⁸ à 464/1072 et non 1085 comme plusieurs encyclopédies le mentionnent. Il est célèbre pour avoir été un brillant médecin, auteur de plusieurs traités de médecine et de chirurgie, exerçant au bimaristan de Bagdad puis au service des sultans et des califes qu'il suivait jusque sur leurs champs de bataille. Il a écrit une somme philosophique ayant pour titre *Kitāb al-Mu'tabar (fī l-Hikma)*, que l'on peut traduire par «Le livre de ce qui est acquis par la réflexion personnelle (philosophique)». Cet ouvrage est constitué d'une Logique, d'une partie Sciences de la Nature, et d'un traité de Métaphysique. Ce découpage est aussi celui du *K. al-Shifā'* de son aîné Avicenne, — qui contenait en outre un traité de mathématiques — ou encore celui du *compendium de philosophie* de son contemporain al-Lawkarī (m. 527/1133), défenseur des thèses avicenniennes⁹. C'est un découpage classique relevant, lui aussi, de l'héritage aristotélicien.

Al-Baghdādī est aussi célèbre pour s'être converti à l'islam très tardivement (sans doute autour de la soixantaine). Cette conversion donne lieu à des gloses, aujourd'hui encore, mais elle n'est pas un cas isolé dans le monde arabo-musulman de cette époque. Un des élèves en médecine d'Abū l-Barakāt, Samaw'al al-Maghribī (m. 575/1180)¹⁰, a opéré une conversion plus spectaculaire encore en publiant à la suite un virulent ouvrage anti-judaïque *Iḥām al-Yahūd* dont le titre affirme vouloir réduire les juifs au silence¹¹. L'hypothèse qu'al-Baghdādī se serait converti par peur de la répression —

7. (1) AL-BAYHAQĪ (m. 565/1170), *Tatimmat Šiwān al-Hikma* (Anthologie de la Sagesse), notice n° 93, p. 150 de l'édition arabe Moḥammad Shafī', Lahore 1935. (2) IBN ABĪ UṢAYBĪ'A (m 1270), '*Uyūn al-anbā' fī ṭabaqāt al-aṭibbā'*' (Chronique de la vie des médecins), 6 vol., (éd.) 'Amr al-Naḡḡār, *al-hay'a al-miṣriyya al-āma lil-kitāb*, Le Caire, 2004, vol. 2, pp. 313 à 316. (3) AL-SHAHRAZŪRĪ (m. après 687/1288), *Nuzhat al-arwah wa rawdat al-afrāḥ fī tāriḥ al-hukamā' wa-l-falāsifa*, 2 vol., (éd.) *Ġāmi'a Dā'ira al-Ma'ārif al-Uṣmāniyya*, Hayderabad, 1396/1976, vol. 2, pp. 79-80. (4) AL-QIFĪ (m. 646/1248), *Tā'riḥ al-Hukamā'*, (ed) Julius Lippert, Dieterich'sche Verlagsbuchhandlung, Leipzig, 1903, p. 343-5.
8. Al-Bayhaqī soutient que la durée de vie d'Abū l-Barakāt est de quatre-vingt-dix années solaires mais tous les autres biographes rapportent quatre-vingts.
9. Al-Lawkarī (Abū al-'Abbās al-Faḍl Ibn Muḥammad), *Bayān al-baqḡ bi-ḍamān al-ṣiḡ* (L'explication de la vérité exposée de façon digne de foi), un ouvrage qui n'a pas été édité dans son intégralité mais dont de nombreux manuscrits ont été conservés, sans doute parce qu'il a servi de manuel.
10. Biographie d'al-Samaw'al, b. Yahyā al-Maghribī, et notice d'Adel ANBOUBA, in *Dictionary of Scientific Biography*, (ed.) Ch. Coulston Gillispie, New York, 1975, vol. XII, p. 91b-95a.
11. Samaw'al al-Maghribī's (d. 570/1175) *Iḥām al-Yahūd*, The Early Recension, Introduced and edited by Ibrahim Marazka, Reza Pourjavady and Sabine Schmidtke, Wiesbaden, Harrassowitz Verlag, 2006.

parfois avancée dans la littérature — ne semble pas avoir de fondement historique. En revanche celle d'une conversion «stratégique» pour acquérir davantage de reconnaissance sociale n'est pas impossible et divers incidents de cour, rapportés par les biographes, montrent que l'homme avait une haute idée de lui-même et du rang qui lui était dû.

Dans les toutes premières pages du *K. al-Mu'tabar*, Abū l-Barakāt explicite comment il a écrit cet ouvrage, après un long développement sur sa conception de la diffusion de la science, qu'il ne souhaite pas voir exposée à ceux qui n'en ont pas les aptitudes. Il raconte qu'après avoir éprouvé de grandes difficultés à lire les gloses des auteurs postérieurs (les commentateurs grecs ou arabes postérieurs à Aristote), il a commencé à appliquer sa réflexion et sa pensée spéculative sur les sciences philosophiques¹²:

«Je l'ai intitulé *Kitāb al-Mu'tabar*, parce que j'y ai mis ce que j'ai connu, établi par une réflexion personnelle (*i'tabartubu*), vérifié et rendu parfait par la méditation; je n'ai rien transcrit que je n'aie compris et je n'ai rien compris et accepté sans méditation et réflexion personnelle (*i'tibār*). En adoptant telles ou telles opinions et doctrines, je n'ai pas cherché à me trouver d'accord avec les grands à cause de leur grandeur ou en désaccord avec les petits, à cause de leur insignifiance. C'est que mon but en tout cela était la vérité et que la conformité de mes opinions avec celles des autres ou leur divergence n'était qu'un accident.»

Abū l-Barakāt a mis en œuvre, sur de nombreux points nous allons le voir, cette profession de foi d'*i'tibār*. L'esprit critique dont il fait preuve vis à vis de certains dogmes aristotéliens est peut-être favorisé par le contexte philosophique dans lequel il vit. Un demi-siècle plus tôt, al-Ghazālī (l'Algazel des Latins, m. 505/III) a mis violemment en cause la posture des philosophes en dénonçant le suivisme intellectuel, l'imitation (*taqlīd*) qui caractérisent selon lui leurs travaux. C'est l'avis de F. Griffel qui, dans une récente étude, met en parallèle la posture épistémologique d'Abū l-Barakāt et celle du théologien asharite¹³.

L'œuvre de celui qui se faisait appeler «Awḥad al-Zamān» (l'Unique de son temps) fut saluée — mais assez peu commentée — de son vivant. Elle est plusieurs fois citée au siècle suivant, que ce soit par le célèbre théologien asharite, Fakhr al-Dīn al-Rāzī, ou par le philosophe juif d'Égypte Maïmonide. Il n'a cependant pas fait "école" au sens strict et on ne lui connaît que peu de disciples. L'étude de la transmission et de la postérité de ses idées reste à faire.

12. *K. al-Mu'tabar*, I, 1, p. 4.

13. GRIFFEL, F., «Between al-Ghazālī and Abū l-Barakāt al-Baghādī: The Dialectical Turn in the Philosophy of Iraq and Iran During the Sixth/Twelfth Century», in (ed.) Peter Adamson *In the Age of Averroes: Arabic Philosophy in the Sixth/Twelfth Century*, The Warburg Institute-Nono Aragno Editore, London-Turin 2011, pp. 45-76, p. 67.

2. CONTEXTE PHILOSOPHIQUE

Pour davantage situer les débats de la philosophie naturelle de ces v^e-vi^e siècles de l'hégire, quelques précisions sont nécessaires sur les différents apports qui l'ont irriguée, notamment ceux dont on trouve trace dans le *K. al-Muṭabar*.

De nombreux recensements ont été faits ces dernières décennies du corpus grec traduit en arabe ainsi que des différentes écoles de traduction. Je renvoie bien sûr au travail de Dimitri Gutas¹⁴ mais aussi aux travaux plus spécialisés sur notre sujet de Paul Lettinck¹⁵ et d'Elias Gianakis¹⁶. Concernant *la Physique* d'Aristote qui est le texte de référence d'Abū l-Barakāt, les philosophes de Bagdad disposaient de toute une exégèse, tant grecque qu'arabe. Le seul manuscrit de la traduction d'Ishāq b. Ḥunayn¹⁷ (m. 910) qui nous soit parvenu contient par exemple les commentaires des philosophes de l'école de Bagdad, quelques commentaires d'Alexandre d'Aphrodise perdus en grec (m. 200), d'Anaxagore (m. -428), de Themistius (m. 320-390) et les commentaires d'un certain Yaḥyā qui n'est autre, dans la plupart des cas, que Philopon (Yaḥyā al-Naḥwī est la traduction de son surnom «Jean le Grammairien») comme l'ont montré plusieurs études [Giannakis 92]. Abū l-Barakāt cite abondamment et avec précision les éléments de cette exégèse. Il cite aussi plusieurs fois explicitement le *Timée* de Platon mais il ne semble connaître ce texte qu'à travers les écrits d'Aristote.

Abū l-Barakāt est sûrement lecteur des grands fondateurs de la philosophie musulmane que sont al-Kindī et al-Fārābī et qui ont, les premiers, commenté cet héritage grec, mais aucune mention dans son livre ne permet d'évaluer leur impact spécifique. En revanche, la relecture de la physique aristotélicienne réalisée par Avicenne dans son *K. al-Shifā'*, et particulièrement dans son dernier tome portant sur les Sciences de la Nature (*al-Samā' al-Ṭabī'ī*) est très présente, sans que l'auteur ne soit nommé.

D'autres penseurs grecs sont susceptibles d'avoir influencé notre philosophe, même s'ils sont surtout connus pour opérer dans un autre art. C'est au moins le cas de

14. GUTAS, D., *Pensée grecque, culture arabe, Le mouvement de traduction gréco-arabe à Bagdad et la société abbasside primitive (II^e-IV^e/VIII^e-X^e siècles)*, trad. A. Cheddadi, Aubier, Paris 2005, trad. de *Greek Thought, Arabic Culture*, London, Routledge, 1998.

15. LETTINCK, P., *Aristotle's "Physics" and its Reception in the Arabic World*, Vrije Universiteit te Amsterdam, 1991.

16. GIANNAKIS, E., *Philoponus in the Arabic Tradition of Aristotle's Physics*, thèse de doctorat de philosophie soutenue à l'Université d'Oxford, 1992.

17. Le ms. Leiden/Warner 583 a été édité par BADAŪĪ, A., *Aristūṭālīs. al-Ṭabī'a, tarḡamat Ishāq ibn Ḥunayn ma'a shurūḥ Ibn al-Samḥ wa-Ibn 'Adī wa-Mattā ibn Yūnus wa-Abī l-Faraġ ibn al-Ṭayyib* (Aristote, *Naturalia*, trad. de Ishāq b. Ḥunayn avec les commentaires de Ibn al-Samḥ, Ibn 'Adī, Mattā b. Yūnus et Abū l-Faraġ b. al-Ṭayyib), *Juz'* 1,2, Le Caire, 1964-65.

Galien, dont Abū l-Barakāt a résumé le traité d'anatomie et dont les biographes arabes laissent entendre qu'il connaissait l'ensemble de l'œuvre (disponible en arabe). L'un des chapitres du *Livre de la Démonstration* écrit par le médecin de Pergame au II^e siècle traitait de deux questions qui intéressent au plus haut point cette étude: le lieu et le temps. Un texte d'Alexandre d'Aphrodise ayant pour titre la *Réfutation de Galien sur le Temps et le Lieu* selon Ibn al-Nadīm¹⁸, ou bien *Réfutation de Galien au huitième livre de son traité de la Démonstration* selon Ibn Abī Uṣaybi'a¹⁹, traduit en arabe, lui répondait. Ces textes n'ont malheureusement pas été conservés, ni en grec, ni en arabe. Mais on sait qu'ils étaient discutés, au moins depuis al-Fārābī, qui les mentionne et désigne Galien comme «la bête noire des partisans d'Aristote» qu'il convient de combattre²⁰. Dans son chapitre sur le Temps que nous ne développerons pas ici, Abū l-Barakāt rejette précisément les arguments d'Alexandre et on peut penser que ses arguments reprennent au moins en partie ceux du médecin de Pergame. Il en est de même pour la question du lieu de l'Univers²¹.

L'œuvre du philosophe alexandrin Jean Philopon (490 à 575-580), elle aussi de langue grecque, mérite une mention particulière. On sait que celui-ci a affirmé sa conviction en l'existence d'un commencement du Monde dans son commentaire de la *Physique* d'Aristote (qui date de 517) et que son *De Aeternita Mundi Contra Proclum* et surtout son *Contra Aristotelem*, aujourd'hui perdu, ont eu beaucoup d'influence dans le monde arabe. Pour l'orthodoxie aristotélicienne de Bagdad des X^e-XI^e siècles, Philopon est celui qui a attaqué de la façon la plus virulente la pensée du Stagirite.

Abū l-Barakāt, comme la majorité des philosophes du monde arabo-musulman depuis al-Fārābī, a combattu dans sa physique et dans sa métaphysique l'idée d'une origine et d'une fin des temps. En revanche il a adopté et prolongé la conception de l'espace défendue par le Grammairien, contre la conception aristotélicienne d'un lieu-enveloppe, celle d'un espace tridimensionnel potentiellement vide qui est aussi l'espace des géomètres.

Il est cependant notable pour la suite de notre étude, que cet héritage grec consacre une rupture entre la physique, qui est une partie de la philosophie, et les mathématiques. Ces dernières étudient des êtres immuables alors que la physique se concentre par définition sur les êtres soumis au changement. Une telle séparation a pesé lourdement et de diverses façons sur le développement de la dynamique.

18. IBN AL-NADĪM, *Fihrist*, p. 253-5-6.

19. IBN ABĪ UṢAYBĪ'A, *Uyūn al-ambā'*. vol. 1, p. 305.2.

20. BADAWĪ, A., «Al-Fārābī, défenseur d'Aristote contre Galien», in Iraj AFSHAR (ed.), *Essays on Fārābī*, University of Teheran, Teheran, 1976, pp. 25-34, p. 26.

21. La place de Galien sur la question du temps est étudiée dans ma thèse pp. 212-214 et sur la question du Lieu du Tout, pp. 157-164.

Pour finir ce rapide tableau du paysage philosophique du VI^e/XII^e siècle bagdadien, il nous faut dire quelques mots du *kalām*, dont quelques thèses sont débattues par notre auteur. Les *mutakallimūn* distinguent les débats qui concernent la révélation, de ceux qui appartiennent à la philosophie comme la logique, l'épistémologie, la cosmologie, ou l'anthropologie²². Des désaccords sur le premier sujet aboutissent à la formation de sectes, mais ce n'est pas le cas pour ceux portant sur le deuxième, qui relève de la raison.

L'histoire des théories physiques explorées par le *kalām* depuis les premiers siècles pour lesquels nous ne disposons que de rares sources, peut être reconstruite aujourd'hui à partir des controverses que l'on trouve dans les textes plus tardifs des XI^e, XII^e et XIII^e siècles. On est alors frappé, dans la présentation qu'en fait A. Dhanani²³ par exemple, de leur diversité doctrinale, alors que le terme de *falāsifa* est, à la même époque, synonyme ou presque de «sectateurs d'Aristote».

Le *kalām* du IX^e siècle va aborder par exemple le premier des problèmes cosmologiques — celui de la nature et des attributs des choses — de façons très variées et les thèses que l'on peut identifier plongent leurs racines dans les traditions philosophiques irréconciliables de l'antiquité grecque à savoir le péripatétisme, le stoïcisme, et l'atomisme.

Une telle «cacophonie» philosophique est sans doute liée au fait que le but du *kalām* est ailleurs, ce que ne manquent pas de critiquer les *falāsifa*. Dans son *Guide des Égarés*, le philosophe juif Maïmonide (m. 1204) fait remonter la source du *kalām* à la réaction anti-philosophique originaire des chrétiens grecs et syriens²⁴. Pour lui le *kalām*, quelle que soit la religion de ses sectateurs, fait «feu de tout bois», néoplatonisme, atomisme, pour construire une défense de la religion qui cherche à réconcilier l'œuvre des philosophes — il faut comprendre ici celle d'Aristote et ses disciples — avec le monothéisme. C'est ainsi que Jean Philopon dans cette histoire reconstruite est promu premier parmi les *mutakallimūn*.

Le *kalām*, dans cette acception élargie, partage de fait avec la philosophie une démarche rationnelle qui rend difficile une opposition frontale entre les deux. Les terrains de discussion entre les *falāsifa* et les *mutakallimūn* sont nombreux et les clivages parfois inattendus. Pour ce qui est des sciences naturelles, les *mutakallimūn*

22. Par exemple le texte classique et très commenté du *mutakallim* Aḡud al-Dīn al-Ījī (m. 756/1355) *Mawāqif*, contient six sections dont seule la cinquième est exclusivement dédiée aux sujets théologiques (Dieu, la Prophétie).

23. DHANANI, A., *Physical Theory in Kalām: atoms, space, and void in basrian mu'tazilī cosmology*, Brill, Leiden-New York, 1994.

24. MAÏMONIDE, *Guide des Égarés*, I, 71, trad. S. Munk, Paris, 1886, reprint (éd.) Verdier, 1970, pp. 175-7.

pensent par exemple que les astres dans le ciel sont faits de terre alors que les philosophes défendent l'idée que ce sont des intelligences. Le courant atomiste, qui n'était qu'une des doctrines du *kalām* précoce, a fini par s'identifier à lui par la suite, alors que les philosophes qui en défendent les thèses sont très rares. D'autres polémiques portent sur l'infini dans la grandeur ou dans la divisibilité, question centrale, comme nous allons le voir, dans la physique d'Abū l-Barakāt.

Lorsque le mutazilisme est né à Bassora, après la première scission du *kalām* (vers 750), l'atomisme s'est développé dans cette ville aux IV^e-V^e/X^e-XI^e siècles. Mais dans le même temps, les mutazilites de Bagdad se sont opposés à cette conception à l'aide d'arguments puisant dans le corpus aristotélicien et quelques éléments du débat entre ces théologiens — tels que les a rapportés au V^e/XI^e siècle Ibn Mattawayh²⁵ — se retrouvent dans les thèses qu'examine Abū l-Barakāt à propos du vide et de l'espace.

L'asharisme né au X^e siècle n'a pas remis en cause les vues cosmologiques de cette école. Nous avons déjà cité l'un de ses sectateurs les plus célèbres, tant dans le monde occidental qu'oriental en la personne d'al-Ghazālī (Algazel). Son œuvre est sans doute une pièce maîtresse pour comprendre le renouveau philosophique du siècle de notre auteur, qui a la double caractéristique d'être celui de la diffusion massive des œuvres d'Avicenne, et d'une attaque d'ampleur contre « l'incohérence des philosophes ». C'est sans doute une des clés pour comprendre la grande inventivité de notre Abū l-Barakāt.

Précisons qu'à son époque, les relations entre le pouvoir politique d'une part, et les philosophes et théologiens rationalistes d'autre part, semble plutôt apaisées. Une autre étude de F. Griffel²⁶ montre que le rationalisme n'était pas particulièrement combattu par les autorités de l'Islam et plutôt soutenu par les pouvoirs locaux, au moins jusqu'au début du XIII^e siècle, avec quelques exceptions notoires il est vrai, sur la fin de cette période.

3. LA PHYSIQUE D'ABŪ L-BARAKĀT

Les Sciences de la Nature du *K. al-Mu'tabar* d'Abū l-Barakāt se présentent en deux parties: une *Physique* proprement dite en 28 chapitres, qui reprend sur de nombreux points, même si l'ordre en est modifié, ceux de l'ouvrage correspondant d'Aristote, et

25. IBN MATTAWAYH, *Al-Tadhkira fī ahkām al-jawāhir wa al-a'rāq* (Des propriétés des atomes et des accidents), extraits traduits et commentés par A. Dhanani (cf. note 19) pp. 71-89.

26. GRIFFEL, F., «Fakhr Ed-Dīn Al-Rāzī's life and patronage he received», in *Journal of Islamic studies*, 18:3, Oxford University Press, 2007, pp. 313-344.

dans une deuxième partie, cinq traités sur le Ciel, la Génération et la Corruption, les Météores, les Animaux et les Plantes, et l'Âme.

Les premiers chapitres de la *Physique* sont, pour l'essentiel, une reprise sans grande innovation des définitions classiques de la physique aristotélicienne: définition du mouvement comme «actualisation, perfection d'une puissance qui se fait dans un temps», nécessité d'un moteur à tout mouvement, classification des mouvements en naturel (celui de chute libre) et forcé (celui résultant d'une projection). Il faut attendre les chapitres sur l'espace, le temps, et ceux sur l'infini pour voir apparaître de véritables nouveautés qui ne pourront pas toutes être présentées ici.

L'étude de la *quies media* qui est faite à la fin de l'ouvrage, dans le chapitre 24 dont l'objet est le mouvement des projectiles, réinvestit une grande partie de ces innovations. Elle convoque aussi bon nombre des discussions qui animaient les différentes écoles du III^e/IX^e au VI^e/XII^e siècle. Le terme de *quies media* est celui par lequel les latins ont nommé, par la suite, le repos intermédiaire supposé s'interposer entre le mouvement ascendant d'une pierre que l'on jette en l'air et son mouvement de chute, une hypothèse qui date de l'antiquité grecque. L'existence même du terme latin montre bien que cet exercice de pensée ne s'est pas arrêté au monde arabe médiéval. Il a connu de nombreux développements jusqu'au XVI^e siècle en France et en Italie, en raison des problèmes philosophiques, physiques, et mathématiques qu'il soulève. Il est à cet égard une controverse typique de la naissance de la Science classique, celle qui verra le jour au XVII^e siècle.

(a) La nécessité du moteur

Le premier problème posé à l'analyse du mouvement des projectiles est celui de l'affirmation de la nécessité du moteur: comment la pierre peut-elle poursuivre son mouvement alors qu'elle a quitté la main du lanceur? On sait qu'Aristote dans cette affaire impose le contact permanent entre le milieu traversé et le mobile: l'air traversé est plus apte à recevoir la poussée, il est donc mis en mouvement plus facilement et entraîne avec lui le projectile.

Le milieu est indispensable à la mécanique aristotélicienne, y compris dans le cas de la chute libre: pour rendre compte de l'inégalité de temps de chute des corps — fausement constatée — Aristote pose que la vitesse de chute (v) est proportionnelle au poids de ce corps (P) et inversement proportionnelle à la résistance du milieu (R), ce que l'on nomme abusivement la «loi fondamentale de la dynamique aristotélicienne» et que l'on résume de façon totalement anachronique par l'expression: $v = P / R^{27}$.

27. En réalité on exprimait durant l'Antiquité et tout le Moyen Âge cette loi en deux temps: le rapport des vitesses de deux corps de poids différents dans un même milieu est comme le rapport de ces deux

Si dans ce rapport, la résistance s'annule, la vitesse devient infiniment grande et la chute se fait dans un «non-temps», ce qui est inadmissible puisque tout mouvement nécessite par définition un temps.

Cette thèse que le Stagirite a développée dans le livre IV de sa Physique est une pièce maîtresse de sa démonstration de l'inexistence du vide et de sa théorie du lieu des corps, de lieu-enveloppe. Deux thèses auxquelles Philopon a opposé dans ses commentaires²⁸, une conception géométrique de l'espace tridimensionnel, potentiellement vide de tout corps. Le mouvement, pour l'Alexandrin, est possible dans le vide et il dure un certain temps (proportionnel au moteur) auquel s'ajoute, lorsque le même mouvement a lieu dans un milieu, un temps supplémentaire fonction de la densité de ce médium. Philopon ne remet pas en cause la nécessité du moteur à tout mouvement (alors que Galien semble l'avoir fait dans un texte qui ne nous est pas parvenu). Mais, ayant dénié au milieu le rôle de moteur, le Grammairien place celui-ci à l'intérieur des mobiles en évoquant la *rhopè*, l'impulsion ou l'inclination acquise par le projectile au moment du lancement.

Ce terme grec de *rhopè* n'est pas nouveau au VI^e siècle et il était déjà utilisé par le Stagirite lui-même dans son *De caelo* pour évoquer l'inclination des corps à rejoindre leur «lieu naturel». Mais il prend ici un sens nouveau de cause «interne au mobile» que les latins traduiront par *inclinatio*, ou par *impetus*, ce dernier terme n'ayant été introduit qu'au XIV^e siècle par Buridan. Les arabes l'ont traduit par *mayl*, l'exact équivalent sémantique de *rhopè* (*māla* signifie incliner, pencher vers). Avicenne, le premier dans le monde arabe à notre connaissance, définira cette inclination par l'affirmation suivante²⁹:

«Chaque mouvement provient d'un *mayl* qui est confirmé par le fait que la chose qui se tient devant ce mobile reçoit une impulsion et qu'elle a besoin d'une force pour résister à ce mobile.»

L'élan ou impulsion qui est dans la balle, est ressenti par celui qui la reçoit et qui doit exercer un effort pour s'opposer à cette impulsion. Cette définition d'inspiration «philoponienne» sera aussi celle d'Abū l-Barakāt.

Pour autant, comme nous allons le voir en comparant les thèses d'Avicenne à celles d'Abū l-Barakāt, le *mayl* arabe ne constitue pas une théorie unifiée, pas plus d'ailleurs que les théories de l'*impetus* qui suivront en Europe. Une partie de ma thèse consiste

pois; et le rapport des vitesses d'un même corps dans deux milieux de résistances différentes est comme le rapport inverse de ces résistances.

28. PHILOPON, J., *Corollaries on Place and Void*, trad. Furley D., in (éd.) R. SORABJI, *Philoponus and the Rejection of Aristotelian Science*, Duckworth, London, 1991.

29. La définition d'Avicenne est extraite du *K. al-Shifā'*, IV, 8, p 298. Elle est reprise mot pour mot par al-Baghādādi dans son *K. al-Mu'tabar* II, 24, p 95.

d'ailleurs à comparer ces théories toutes englobées sous le terme d'«impetus», à rechercher leurs invariants et à confronter les cadres conceptuels (espace, temps, système du monde...) dans lesquels elles sont élaborées. On est en droit de se demander parfois si ces cadres sont commensurables³⁰. Or elles sont souvent amalgamées sous le même vocable, y compris dans les études actuelles.

Cette idée d'inclination est aussi présente chez les *mutakallimūn*, qui l'ont intégrée dans leur théorie de l'engendrement du mouvement au travers d'un autre terme: l'*ʿitimād*, un terme dont la racine *ʿa/mal/da* renvoie à l'idée de soutien, de support, et de propension. Il est employé, y compris par Avicenne et Abū l-Barakāt, comme un équivalent de *mayl* puisqu'il se définit comme «ce qui produit dans le corps une répulsion à l'égard des corps qui font obstacle à son mouvement dans une direction déterminée³¹», une définition très voisine de celle admise pour le *mayl*. Cependant cette thèse mutazilite est un élément de leur doctrine plus générale, selon laquelle non seulement la matière est constituée d'indivisibles, mais aussi le mouvement. Celui-ci, malgré son apparence continue, est fait d'unités discrètes — des «atomes de mouvement» — qui peuvent être séparées par des instants de repos. Cette thèse est inadmissible pour les philosophes aristotéliens, néoplatoniciens ou pas, pour qui le mouvement, le temps et l'espace font partie des êtres continus.

(b) les théories du *mayl* à l'épreuve de la *quies media*

Pour expliquer le mouvement ascendant de la pierre que l'on jette en l'air, Avicenne définit l'inclination forcée comme une force acquise (*quwwa mustafāda*) par le mobile, ce qui lui permet de remédier à une contradiction flagrante de la théorie d'Aristote: pourquoi accorde-t-il à l'air ce qu'il refuse au mobile, à savoir la possibilité d'acquérir l'impulsion donnée par le lanceur. Avicenne place ainsi à l'intérieur du corps, en apparence du moins, la cause du mouvement, à savoir ce *mayl qasrī* (inclination forcée ou violente). Or dans l'ontologie aristotélienne, la cessation d'un effet correspond toujours à la privation de sa cause: puisque le mouvement forcé s'arrête en haut de la trajectoire, ce *mayl* doit y être annihilé. Quelle est la cause de cette cessation?

Cette cause, en tant que cause, ne peut pas s'annihiler elle-même, sinon «elle n'existerait pas un instant»; elle doit l'être par une autre cause et Avicenne ne voit que deux cas possibles. Soit cette cause est intérieure au mobile, soit elle est externe.

30. NONY, S., «Two Arabic Theories of Impetus», in *Classical Papers*, (ed.) O. Fayez Riyadh, Le Caire, 2009; trad. par Peter E. Pormann, in: Peter E. Pormann (ed.), *Islamic Medical and Scientific Tradition, Critical Concepts in Islamic Studies* 4 vol., vol. 3, chap. 31, pp. 3-32, London, Routledge, 2011.

31. PINES, S., *Études*, pp 42-43.

Si cette cause de ralentissement du «montant» est interne, c'est une cause qui est dominée tant que le mobile poursuit son mouvement ascendant, puis prend le dessus ensuite et devient alors «effectivement une cause», ce qui nécessiterait selon la logique avicennienne une troisième cause, celle de l'apparition de la cause de la cessation, et le raisonnement débouche sur une régression à l'infini. La cause de cessation ne peut donc provenir que du milieu; ce qui rend inenvisageable l'absence de résistance de celui-ci, autrement dit le vide.

Avicenne, en démontrant que la cessation ne peut provenir que du milieu, pense avoir atteint l'objectif qu'il s'était fixé dès le titre de ce chapitre II-8 de sa *Physique*, à savoir montrer «les contradictions des partisans du vide». D'autres raisons fondamentales imposent à ses yeux une terminaison à ce mouvement. L'idée d'une continuité entre le montant et le descendant n'est pas envisageable pour un aristotélicien car ces deux mouvements sont contraires, ce terme renvoyant au plus fort degré d'opposition des catégories aristotéliciennes. Les mouvements contraires ont nécessairement des causes contraires.

Abū l-Barakāt affirme quant à lui, en comparant le mouvement de deux pierres de grosseurs différentes que l'on jette en l'air, que le *mayl* naturel est présent dès le début du mouvement ascendant³²:

«... S'il n'y avait pas de *mayl* résistant présent dans <le mobile>, alors qu'est-ce qui distinguerait l'état des deux pierres lancées d'une seule main, dans une trajectoire unique, avec la même force, dans la vitesse et la lenteur? Or elles se différencient entre la petite et la grosse, de sorte que la plus grosse des deux est plus lente en montant ou bien <qu'elle monte> sur une plus courte distance et la plus petite est plus rapide et parcourt une distance plus grande.»

Il pointe ainsi le rôle de ce *mayl* naturel, que l'on peut assimiler en première approximation seulement à son poids, concept alors indifférencié bien entendu de celui de masse. Le *mayl* naturel introduit une variation sur l'effet de la force du lanceur. Pour une même force de lancement, la hauteur d'élévation et/ou la vitesse à laquelle le projectile s'élève seront d'autant plus grandes que le *mayl* naturel résistant sera plus faible. Cette étape du mouvement ascendant est, de ce fait, gouvernée par un paramètre intrinsèque au mobile.

Abū l-Barakāt utilise une autre expérience de pensée, mettant en scène un corps soumis à deux forces antagoniques — un anneau tirailé de deux côtés —, pour montrer que l'une peut l'emporter sans que l'autre soit forcément nulle, mais seulement d'intensité moins grande. Le *mayl* forcé d'Abū l-Barakāt coexiste donc dans le projectile, dès le début du montant avec le *mayl* naturel. Le premier, accidentel, étant

32. *K. al-Mu'tabar*, II, 24, p. 99 ligne 23 - p. 100 ligne 2.

fourni par le lanceur, va dominer le second du début à la fin du montant. Mais le second va tout de même agir car, comme dans l'expérience de l'anneau tirillé, il épuise le premier. L'inclination forcée est donc peu à peu épuisée par la naturelle. Le milieu peut aussi contribuer à cet épuisement mais son rôle ne consiste qu'à rajouter un facteur de ralentissement supplémentaire. Quel que soit ce medium traversé, le corps contient toujours son *mayl* naturel, premier responsable de l'épuisement de son impulsion initiale.

Al-Baghdādī introduit ainsi une nouveauté: la fin du montant ne correspond pas du tout à l'anéantissement de sa cause, seulement à son affaiblissement³³.

Le *mayl* forcé domine donc totalement à son début, le *mayl* naturel; il ne cesse de s'affaiblir et de ralentir le mouvement, faiblesse après faiblesse, lenteur après lenteur, jusqu'à ce qu'il soit incapable de résister au *mayl* naturel. Le *mayl* naturel prend alors le dessus...

Autrement dit, il persiste dans le mobile un *mayl* «montant» alors que le mouvement ascendant est terminé. Il y a là une différence radicale avec le *mayl* avicennien et un démenti au postulat aristotélicien selon lequel «la cause des privations est la privation des causes». Cette thèse met en cause la discontinuité des mouvements contraires, ce que le philosophe achèvera de démontrer par une très belle expérience de pensée que je décrirai plus loin.

Par ailleurs le fait d'abolir le milieu comme «cause» confère un statut différent à cette inclination qui devient véritablement interne au mobile, caractéristique indissociable de la conception du lieu des corps développée par Abū l-Barakāt³⁴. Il conteste la notion de lieu-enveloppe des péripatéticiens et défend l'idée d'un espace tridimensionnel vide, indépendant des corps qui y sont localisés. Cette conception est sans doute reprise à Philopon mais contrairement au Grammairien, il considère cet espace potentiellement infini. Elle a aussi de nombreux points communs avec celles des mutazilites de Bassora³⁵. La cause du mouvement étant interne au corps, celle de sa cessation l'est aussi: l'inclination violente d'Abū l-Barakāt comme celle de Philopon s'épuise même dans le vide.

Cette affaire de l'épuisement du *mayl* ou de l'impulsion donne lieu parfois à des interprétations précipitées. Faire de la *whiggish history* consisterait à dire qu'Ibn Sīnā s'approche du principe d'inertie puisque son *mayl* violent ne s'épuise pas de façon

33. *K. al-Mu'tabar*, II, 24, p. 100 lignes 13-17.

34. NONY, S., «La dynamique d'Abū l-Barakāt: faire le vide pour penser le changement du changement», in P. Adamson (ed.), *In the Age of Averroes: Arabic Philosophy in the Sixth/Twelfth Century*, pp. 93-116, London-Turin, Warburg Institute-Nino Aragno Editore, 2011.

35. Cf. DHANANI, *Physical Theory* (note 20), pp. 68-9.

intrinsèque, tandis qu'Abū l-Barakāt s'en éloigne puisque le sien s'épuise de toute façon. C'est le pas franchi par S. Pines lorsqu'il écrit :

«Ainsi Abū l-Barakāt abandonne la conception si importante d'Avicenne qui pose la persistance indéfinie d'un mouvement sans obstacle. Il revient à la doctrine, dépassée au point de vue de la physique moderne, d'un affaiblissement graduel de la force motrice de par le mouvement même³⁶.»

Or Avicenne ne «pose» justement pas cette persistance indéfinie puisqu'il pense l'existence du vide impossible, et, à l'instar d'Aristote, il utilise l'absurdité de cette conséquence que serait la persistance du mouvement pour rendre encore plus flagrante les «contradictions des partisans du vide». Il semble vain d'examiner ces différentes théories à l'aune d'un concept qui n'est pas encore inventé (celui du principe d'inertie de Galilée-Descartes qui affirme qu'en l'absence de force, le mouvement — ou le repos — persévère) car justement cette hypothèse aberrante sort du cadre de pensée des deux philosophes. La quête du «précurseur» joue de mauvais tours aux historiens des sciences et il semble plus fructueux de confronter les économies internes des théories pour situer les audaces créatrices qu'elles peuvent contenir, relativement à leur contexte historique.

Le fait que le *mayl* naturel soit présent tout au long du mouvement permet à Abū l-Barakāt de construire une continuité causale dans l'évolution des paramètres: le mobile va vers le haut, *malgré* un principe ou cause interne, qui l'enjoint à aller vers le bas. Une telle affirmation dissocie, sans doute pour la première fois dans l'histoire de la discipline, les concepts de force et de vitesse que la «loi fondamentale» d'Aristote identifie l'un à l'autre. De plus, le *mayl* forcé n'est pas nul en haut de la trajectoire alors que pour Avicenne, arrivé au sommet, celui-ci s'annule car son «but» est atteint. Le cadre dans lequel Avicenne analyse son *mayl* est encore téléologique, en donnant le rôle de cause à ce qui relève de la fin du mouvement (le sommet de la trajectoire). Pour ce dernier ce n'est qu'à cet endroit qu'une nouvelle cause peut entrer en jeu: le *mayl* naturel, et ceci parce que deux *mayl*-s différents ne peuvent coexister dans un même corps.

L'existence ou non de la *quies media* va découler des arguments utilisés par chacun des deux protagonistes pour décrire le mouvement ascendant. Puisqu'il y a disjonction des causes du mouvement forcé d'une part et naturel d'autre part, la fin de l'ascendant pour Avicenne n'est pas le même instant que le début du descendant. Il y a donc forcément un temps d'arrêt entre les deux. L'argument repose cette fois sur la conception de la continuité des grandeurs extensibles établie par Aristote, sur laquelle nous allons revenir.

36. PINES, S., *Études*, p. 65.

Abū l-Barakāt ne conteste pas cette conception de la continuité. Mais, en faisant coexister les deux *mayl-s*, il élimine toute discontinuité causale entre l'ascendant et le descendant :

« Si l'existence de ce repos était vérifiée entre les deux mouvements au moment de l'égalité des deux forces — la violente et la naturelle — à la fin du trajet montant pour qu'il y ait un temps quelconque, cela imposerait qu'il reste dans son état jusqu'à ce que lui survienne une cause qui assigne au <mouvement> violent de poursuivre vers le haut ou bien au naturel d'aller vers le bas de sorte que le naturel prenne le dessus, qu'il épuise le <mayl> violent et achève son anéantissement. S'il n'attend pas une cause, il ne reste en aucune façon ainsi parce que si le <mayl> violent ne cesse de s'atténuer en raison de la privation de sa cause, le début de ce qui est à égalité avec le <mayl> naturel poursuit son anéantissement et il est épuisé; c'est le <mayl> naturel qui l'épuise puis la pierre chute. L'instant de la fin de sa montée est celui qui est égal à l'instant précis du début du temps de sa chute et il n'y a pas de raison pour que la résistance demeure un temps car <ce temps> serait retiré de la continuité³⁷. »

Le sommet de la trajectoire ne correspond qu'à l'instant particulier où les deux *mayl-s* sont à égalité, dans un mouvement sans discontinuité. La *quies media* n'existe pas.

Cette théorie va permettre en outre une analyse tout à fait nouvelle de l'augmentation de vitesse (*isrā'*) — que nous traduirons par accélération — subie par le mobile dans son mouvement descendant. Ibn Sīnā dans ses *Discussions (Mubāḥaṭāt)*³⁸ a évoqué cette question dans un bref passage où il insiste sur l'idée que pour rendre compte d'un changement de vitesse, il faut un changement dans la cause de ce mouvement, puisque le mobile lui, ne change pas, ce qui est tout à fait cohérent avec la dynamique péripatéticienne³⁹. La variation du mouvement (de la vitesse) réside donc dans la variation de la distance au centre de la Terre, terme et cause du mouvement, lieu naturel de la pierre. Le *mayl* se renforce donc en vue du centre de la Terre, sa destination.

Abū l-Barakāt poursuit, quant à lui, l'idée d'une coexistence des deux *mayl-s* en début de descente. Le «forcé» qui n'est pas annulé au sommet de la trajectoire mais seulement à égalité avec le «naturel» a un effet contraire à celui du poids. Il va donc ralentir la descente. Cette explication de l'accélération n'est que partielle puisqu'elle ne fonctionne qu'en début de chute d'un corps préalablement projeté vers le haut. Elle s'appuie sur la croyance — largement partagée à l'époque — selon laquelle un mobile qui tombe après avoir eu un mouvement ascendant tombe moins vite que le

37. *K. al-Mu'tabar*, I, 24, p. 101 ligne 20 — p. 102 ligne 4.

38. Cité par A. HASNAOUI, *Dynamique*, p.115.

39. *Al-Mubāḥaṭāt*, in *Aristū 'inda l-'arab (Aristote chez les Arabes)*, (éd.) A. Badawi, pp 116-75, Cairo, Maktabat al-Nahḍa al-Miṣriya, 1947, p. 160.

même mobile qui serait seulement lâché depuis la même hauteur, une thèse qui reprend une idée ancienne attribuée à Hipparque par Alexandre d'Aphrodise (et dont les propos ont été rapportés par Simplicius⁴⁰).

Dans la deuxième partie de la chute, lorsque tout le *mayl* forcé est éliminé, l'explication de l'accélération met en relation ce que nous appelons aujourd'hui le poids du mobile avec l'augmentation de la vitesse de celui-ci, introduisant au passage une nuance entre le *mayl* naturel et le poids:

«Alors tu vois que plus le commencement de sa chute libre est loin <du sol>, plus la fin de son mouvement est rapide et la puissance de son *mayl* grande et pour cela <l'objet> se casse et est pulvérisé, ce qui n'aurait pas lieu s'il était lâché sur une distance plus courte. Donc la variation de cela est expliquée par la mesure de la longueur de la trajectoire qu'il emprunte... Le principe du *mayl* naturel est présent dans la pierre et il lui fournit un *mayl* après un autre... Le principe du *mayl* naturel n'est pas séparé <du corps> et il ne cesse de contribuer jusqu'à ce que <le projectile> atteigne son lieu naturel⁴¹.»

Le poids du projectile est constant, mais il provoque un *mayl* naturel qui se renforce en permanence et vient ajouter ses effets croissants à ce poids. Reprenant peut-être en cela une idée évoquée très brièvement par Avicenne⁴², Abū l-Barakāt développe alors sa théorie de l'accélération par accumulation des *mayl*-s. Il précise le paramètre physique permettant d'évaluer cette accélération: «la mesure de la longueur de la trajectoire qu'il emprunte», à laquelle la vitesse est proportionnelle.

Au terme de cette première exploration, on voit se dessiner chez Abū l-Barakāt une rupture très nette avec la physique de son temps. S'il n'a pas mis en cause la nécessité d'un moteur pour les mouvements, il a changé radicalement la structure de l'espace dans lequel ils se déroulent et placé à l'intérieur des mobiles non seulement les causes de ceux-ci mais aussi les causes de leur variation. Ce faisant, il a identifié des paramètres pour rendre compte de ces variations qui sont intrinsèques au mobile (son poids), ou bien qui relèvent du passé de celui-ci en évoquant la distance qui sépare la pierre de la main du lanceur ou la hauteur de sa chute. Il entreprend ainsi une géométrisation du mouvement quand, dans le même temps, la physique aristotélicienne continue d'identifier le terme de celui-ci avec sa cause.

40. SIMPLICIUS, *Commentaries on Aristotle's On the Heavens*, trad. R.J. Hankinson, R. Sorabji (éd.), Duckworth, London, 2004, I, 8, p. 87 (264,25-265,3).

41. *K. al-Mu'tabar*, II, 24, p. 101.

42. A. Hasnaoui signale un passage de *La Génération et la Corruption* où Avicenne compare le *mayl* naturel à une puissance chauffante. Ce passage, dont une traduction est donnée en appendice de l'article «Dynamique» est extrait du *Kitāb al-Sifā, al-Kawn wa al-fasād*, éd. M. Qāsim, Le Caire, 1969, p. 177, ligne 10 à 14. Pour rendre compte de l'intensification du mouvement, il écrit: elle agit à la manière «dont le *mayl* naturel produit un *mayl* après un *mayl*, par voie d'intensification» (cf. Hasnaoui, *Dynamique*, p. 115).

4. CONTINUITÉ ET VARIATION

Dans le chapitre où Abū l-Barakāt s'est attelé à montrer que le temps qui termine le montant, «ce temps n'est surtout pas le temps du repos», il ajoute une affirmation qui peut paraître curieuse et soulève une deuxième série de problèmes. Il dit à cet endroit⁴³:

«Ce qui n'empêche pas que la fin du temps du mouvement <montant> soit une chose dans laquelle il n'y a pas de mouvement mais plutôt une chose différente du mouvement.»

En termes aristotéliens, une chose différente du mouvement ne peut être que le repos... Mais cela ne peut être le cas dans une démonstration qui a pour but de contester l'existence même de ce repos. En fait, cela ne peut être le mouvement à cause de la définition du mouvement elle-même: perfection, actualisation d'une puissance, en tant que puissance, qui se produit dans un *temps*.

Au sommet de la trajectoire, il y a un instant pour lequel la distance parcourue est nulle et se réduit donc à un point. La définition du mouvement ne permet pas de «penser» ce point singulier; c'est un non-mouvement. Mais ce moment n'est pas non plus un repos parce qu'un instant n'a aucune durée.

D'où viennent les problèmes posés par cet extremum?

(a) Les extensions continues

Aristote a développé sa conception de la continuité dans les trois derniers livres de sa physique notamment. Il combattait, à cet endroit, l'hypothèse atomiste après avoir pourfendu celle des éléates dans les premiers livres.

Pour les atomistes, les grandeurs continues comme la distance ou le temps, sont divisibles en parties elles-mêmes indivisibles, de même genre qu'elles, et c'est la somme de ces indivisibles qui recompose les grandeurs correspondantes. Mais si une longueur est composée d'éléments de longueur indivisibles ou bien un temps d'instant indivisibles, pourquoi ces indivisibles ne peuvent-ils pas se diviser — interroge Aristote — s'ils sont de même genre que la grandeur correspondante? Ou alors cet indivisible n'est-il pas une grandeur? Mais comment une somme de non-grandeurs peut-elle constituer une grandeur? La solution péripatéticienne consiste à dire que les grandeurs continues sont divisibles à l'infini et que les points sont pour les droites des limites mais pas des petits éléments de même genre. La droite n'est pas «composée» de points, autrement dit une grandeur continue n'est pas composée, constituée, de la somme de ses indivisibles.

43. K. al-Mu'tabar, II, 24, p. 98.

Cette théorie a de curieuses conséquences puisqu'on ne peut pas envisager en vertu de cette infinie divisibilité, de début à un mouvement: il est toujours possible de trouver, entre l'instant t de la fin du repos qui précède, et l'instant t' du début du mouvement, un nouvel instant t'' .

L'idée d'un temps infiniment divisible a été avancée par Aristote, à la fin du Livre V et au début du VI, pour résoudre, ou plus exactement trouver une «parade», à l'un des paradoxes de Zénon (celui de la dichotomie). Si un mobile parcourt une distance finie en un temps fini, il doit parcourir mettons la moitié de cette distance, puis la moitié de la moitié, et ainsi de suite: il a donc une série de distances, certes de plus en plus petites à parcourir, mais cette série est infinie alors que le temps de parcours est fini. On sait que Zénon d'Élée en conclut qu'il n'y a pas de mouvement possible. En fait à cet endroit de sa *Physique*, Aristote en montrant, semble-t-il pour la première fois, que le temps est lui aussi une extension continue, formule une théorie générale des grandeurs physiques espace, temps et mouvement⁴⁴.

Pour généraliser le concept de continuité au temps il met en correspondance la distance D parcourue par un mobile en mouvement uniforme et le temps T mis pour le parcourir. Si la vitesse augmente, le temps mis pour parcourir D diminue et si cette vitesse diminue il ne pourra parcourir dans le même temps T qu'une distance D' inférieure à D . Puisque la vitesse peut prendre toutes les valeurs possibles (sauf infiniment grande), on en conclut que «le plus rapide divise le temps et le plus lent divise l'espace». Zénon dit qu'on ne peut pas parcourir les infinis en un temps limité. C'est vrai, dit Aristote, s'il veut parler de l'infini «par les extrémités», ou par la quantité, mais c'est faux s'il veut parler de l'infini «selon la division», car le temps est lui aussi infini en ce sens.

Aristote étend cette notion de continuité au mouvement, grandeur continue et de même que la longueur est divisée par le point, le temps par l'instant, il est divisé par ce qu'il nomme *kinèma*. Mais le *kinèma* n'est pas un petit mouvement, pas plus que l'instant n'est une petite durée ou le point un petit segment. Ce n'est donc pas en tant que limite — au sens de borne *eschata* — du mouvement que le passage par une vitesse nulle en un instant ne peut être pensé dans le cas de la *quies media*. C'est en tant que cette limite serait la valeur de convergence d'une série infinie de mouvements de plus en plus petits.

Pour en revenir à la *quies media*, le non-mouvement au sommet de la trajectoire étant suivi d'un autre mouvement, dire que ce «non-mouvement» est la limite du

44. Cf. WASCHKIES, H. J., «Mathematical continuum and continuity of movement», in *La Physique d'Aristote, l'analyse du continu et du mouvement et la possibilité d'une science de la nature, Cahiers du séminaire d'épistémologie et d'histoire des sciences n° 20*, Université de Nice, CRHI, 1988.

mouvement c'est risquer d'affirmer que le repos fait partie du mouvement. Abū l-Barakāt ne semble pas prêt à affirmer une continuité entre ces deux contraires-là. Il apparaît que le véritable enjeu de la coexistence de *mayl-s* imaginée par Abū l-Barakāt pour décrire le mouvement d'une pierre réside dans ce problème de continuité.

À l'inverse, l'intérêt de la thèse des aristotéliens qui maintiennent, contre toute évidence, ce repos rassurant au sommet est de considérer que l'extrémité du montant correspond à l'épuisement de la cause du montant. Cet extremum est donc une limite au sens de borne, une terminaison de mouvement.

Cette question de l'infinie divisibilité était présente dans les discussions qui ont cours à Bagdad et à Bassora dès le IX^e siècle. Le contenu exact du débat qui opposait al-Nazzām (m. 845) et son oncle Abū al-Hudhayl (m. 849) est intéressant à ce titre et même si leurs textes ne nous sont pas parvenus, il a été répercuté par la littérature mutazilite⁴⁵. Le deuxième revendique l'existence d'atomes qui n'ont ni taille ni extension par eux-mêmes tant qu'ils ne sont pas rassemblés avec d'autres. C'est à Dieu qu'il donne le pouvoir de faire de deux atomes côte à côte le début d'une droite. Son neveu al-Nazzām, théologien mutazilite lui aussi, a attaqué les fondements de ce système: comment un atome peut-il acquérir une extension quand il est combiné avec un autre qui n'a pas plus d'extension que lui? Al-Nazzām affirme, lui, ne pas vouloir abandonner à l'omnipotence divine la possibilité de réconcilier la théologie et la science qui doivent, selon lui, être séparées. On voit là une différence notable avec le «rien ne naît de rien par un pouvoir divin» des atomistes de l'antiquité grecque. Les rôles semblent même «inversés» puisque ce sont ces derniers qui s'attaquaient aux croyances de leurs temps.

À son neveu qui repoussait l'hypothèse des atomes, Abū al-Hudhayl a opposé une version orientale du paradoxe de la dichotomie. Une fourmi qui traverse la lanière d'une sandale doit parcourir la moitié de la distance, puis la moitié de la moitié, etc. Si la distance était une extension continue, la fourmi devrait parcourir une succession infinie d'intervalles en un temps fini, ce qui est impossible. Pour lui et pour la plupart des atomistes arabes, lors du mouvement d'un mobile, chaque atome de celui-ci est en opposition, en parallèle (*muhādhāt*) d'un atome de la surface sur laquelle il se déplace. Cette progression atome par atome échappe bien sûr au paradoxe de Zénon.

La philosophie naturelle se trouve elle aussi confrontée au XII^e siècle à cette question de l'infinitésimal, mais avec de nouvelles données. La contestation de la *quies media* dans le monde arabe a commencé depuis longtemps et il semble que celle

45. Cf. VAN ESS, J., *Theology and Science: the case of Abū Ishāq an-Nazzām*, (ed.) The University of Michigan, Ann Arbor, The second annual United Arab Emirates in Islamic Studies, oct. 1978.

produite par le mathématicien du III^e/IX^e siècle Thābit b. Qurra ait eu un certain retentissement. Un *mutakallim* contemporain lui aurait adressé un traité réfutant cette contestation, comme le mentionne le biographe ibn al-Nadīm⁴⁶.

Ces éléments signalent la persistance du débat sur l'infiniment divisible dans les siècles qui précèdent notre philosophe, mais aussi le renouvellement de ce débat par l'irruption des arguments mathématiques dont nous allons voir un exemple concret.

(b) L'apport des mathématiciens arabes

C'est à un mathématicien et astronome du X^e siècle, al-Qūhī, qu'Abū l-Barakāt a repris l'expérience de pensée décisive de sa démonstration. Ce mathématicien dont quelques audaces ont été étudiées par Roshdi Rashed⁴⁷ a produit des travaux originaux sur les mathématiques infinitésimales et il est mentionné dans la biographie du fils de Thābit b. Qurra⁴⁸. Le récit de l'expérience de pensée imaginée par al-Qūhī ne nous est parvenu qu'à travers un témoignage: celui du médecin Ibn Buṭlān, qui est lui-même un disciple d'Abū al-Farağ Ibn al-Ṭayyib, philosophe chrétien de l'école de Bagdad qui a produit des commentaires — très orthodoxes — de la *Physique* d'Aristote. Ce témoignage d'Ibn Buṭlān montre la vivacité de la controverse sur le repos intermédiaire, deux siècles avant l'écriture du *K. al-Muṭabar*.

La présentation du dispositif d'al-Qūhī est presque mot pour mot celle qu'en fait Abū l-Barakāt dans son chapitre 24 et on peut imaginer, comme le suggère R. Rashed, que la justification théorique d'al-Qūhī qui ne nous est pas parvenue, a au moins inspiré celle d'Abū l-Barakāt. Ce dernier l'expose à l'endroit crucial où les questions de continuité entre deux mouvements contraires sont posées. Il le décrit ainsi⁴⁹:

«Un homme distingué a pris une règle, a fait en son centre un trou puis il a fait passer dans ce trou un fil auquel était suspendu un plomb. Ensuite il a placé l'extrémité finale du fil à l'extrémité fermée de la règle dans une rainure et il a fait déplacer le fil en ligne droite dans ce trait du début de la règle à sa fin en passant près du trou: tant que ce fil se dirige vers le trou, le fil à plomb est conduit vers le bas jusqu'à ce qu'il parvienne à une extrémité, lorsqu'il est proche <du trou>. Ensuite il remonte en poursuivant son

46. IBN AL-NADĪM, *Al-Fihrist*, (ed.) Flügel, I, p. 263. Cité par Régis Morelon, «Les deux versions du traité de Thābit b. Qurra "Sur le mouvement de deux luminaires"», dans *MIDEO* 18 (1988), Beyrouth, Librairie du Liban, pp. 9-44, p. 42.

47. RASHED, R., «Al-Qūhī contre Aristote: sur le mouvement», dans *Oriens-Occidens*, n° 2, 1998, pp. 95-117; et dans *Les Mathématiques infinitésimales du IX^e au XI^e siècle*, 5 vol., (ed.) Al-Furqān, Islamic Heritage Fondation, London, 1996, vol. I, chap. V, pp. 835-48.

48. AL-QIFĪ, *Ta'rikh al-hukama'*, p. 195.

49. *K. al-Muṭabar*, II, 24, p. 97.

mouvement lorsque <le fil> s'éloigne <du trou> pour se diriger vers l'autre extrémité <de la règle>. Lorsque le fil est près du milieu, les deux mouvements contraires sont alors indispensables au fil à plomb dans la poursuite du chemin d'un mouvement unique rectiligne, dans une trajectoire unique provenant d'un moteur unique, atteint dans un temps unique. Et quand alors, aurait lieu le repos?»

L'expérience utilise donc le continuum du déplacement d'un stylet sur une règle, alors qu'au stylet est attaché un fil à plomb qui passe par le trou de la règle. Le plomb parcourt un mouvement descendant puis montant, pendant que le stylet parcourt d'un mouvement uniforme la longueur de la règle. L'extremum de la trajectoire du mobile correspond bien à un seul point de la trajectoire du stylet et à un seul instant de son mouvement, alors que la vitesse s'inverse à ce moment-là. Ceci permet de faire correspondre, point par point, deux continnum au mouvement du mobile. Celui de la distance parcourue et celui du temps. La distance que traverse le stylet et le temps pendant lequel il effectue son mouvement sont, dans cette description, deux extensions continues. La discontinuité en bas de sa trajectoire n'implique aucun temps d'arrêt. Le continuum imaginé par Abū l-Barakāt en admettant la coexistence des *mayl-s* correspond à celui du mouvement du stylet. La réfutation de la *quies media* est alors imparable.

On voit donc que la synthèse faite par Abū l-Barakāt contient un véritable dépassement des paradoxes de l'infinitésimal concernant le mouvement et consacre une innovation très importante pour la discipline, celle de conjuguer ses arguments avec ceux des mathématiques réputées étrangères au monde de la physique.

Postérité

Tout énoncé, même lorsqu'il contient des avancées importantes et qu'il a reçu une certaine diffusion, comme ce fut le cas du *K. al-Mu'tabar* au VI^e/XII^e siècle, n'a pas systématiquement de postérité. Dans le cas de la civilisation arabo-musulmane orientale, dont la prise de la capitale en 1258 par les Mongols scelle le déclin, on peut comprendre aisément que certains bourgeons ne donnent pas les fruits attendus.

Il est cependant frappant de voir à quel point ce texte d'Abū l-Barakāt est comparable, à la fois par le réseau de concepts mis en jeu, et par les prédictions du comportement des mobiles auquel il aboutit (absence de *quies media*, accélération par accumulation des *impetūs*) à celui de Giovanni Battista Benedetti au XVI^e siècle. La théorie développée par ce dernier intéresse au plus haut point notre étude. Duhem rapporte les propos du jésuite italien extraits de son commentaire :

«Dans les mouvements naturels et rectilignes l'*impressio*, l'*impetuositas recepta* croît continuellement, car le mobile a en lui-même la cause mouvante, c'est-à-dire la propension à se rendre au lieu qui lui est assigné; Aristote n'aurait pas dû déclarer qu'un corps est d'autant plus rapide qu'il s'approche davantage de son but (*terminus ad quem*), mais bien

plutôt qu'un corps est d'autant plus prompt qu'il s'éloigne davantage de son point de départ (*terminus a quo*)⁵⁰.»

Benedetti a complètement internalisé dans le projectile la «cause mouvante», cet *impetus* qui lui permet de rejoindre son «lieu naturel», malgré l'aspect téléologique de cette expression. Comme al-Baghdādī quatre siècles plus tôt, cette séparation du mobile et de son milieu l'amène à retenir comme paramètre gouvernant l'accélération de cette chute, la distance parcourue depuis le point de départ.

Plus étonnant encore, Benedetti développe à partir de ce modèle, une théorie de l'accélération basée sur l'accumulation des *impetus*, une idée dont Duhem affirme qu'il s'agit là de sa première apparition, au milieu de ce XVI^e siècle. La nature de cet *impetus* a la même ambiguïté que chez Abū l-Barakāt et on retrouve une confusion analogue dans l'analyse de cet effet accélérant, l'*impetus* étant augmenté par l'*impressio* qu'il provoque lui-même. Il traduit cependant la volonté de placer l'origine de cette accélération à l'intérieur du mobile.

Concernant la *quies media* dite, elle n'existe pas non plus pour Benedetti, et la démonstration en est, comme pour Abū l-Barakāt, une expérience de pensée montrant comment un mouvement continu peut être associé à un aller-retour. Cette fois — nous sommes au siècle des ingénieurs — c'est le mouvement d'une bielle fixée sur un point excentrique à une roue, et dont l'autre extrémité fait un va et vient le long d'une droite qui montre qu'il n'y a aucun temps d'arrêt pour cette deuxième extrémité, la roue tournant d'un mouvement continu.

Comparaison n'est pas raison et la proximité de cette thèse avec celle d'al-Baghdādī est sûrement fortuite. Nous n'avons pas le début d'un indice de transmission du *K. al-Mu'tabar* vers le monde latin et encore moins vers ce jésuite dont les travaux ont si profondément irrigué ceux de Galilée. Cette mise en parallèle nous permet cependant de relire l'histoire de la physique arabe dont on pense encore trop souvent qu'elle n'a pas dépassé le statut de commentaire (éclairé) de la physique aristotélicienne.

5. ÉPILOGUE

La reconstruction de l'analyse du mouvement des corps sublunaires présente des innovations majeures chez al-Baghdādī qui vont bien au-delà d'un amendement de la «théorie de l'*impetus*», théorie qui n'existe d'ailleurs pas comme objet cohérent et isolable tant les variantes dans l'histoire des sciences — orientales comme

50. BENEDETTI, G. B., *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, Taurini, apud Haeredem Nicolai Bevilacqua, MDLXXXV (cap. XIV), trad. Duhem, «De l'accélération», p. 885.

occidentales — sont nombreuses. Nous avons vu par exemple que les caractéristiques des *mayl*-s d'Avicenne et d'Abū l-Barakāt sont radicalement hétérogènes.

Ces théories ne peuvent pas non plus constituer des « prototypes » du principe d'inertie comme croyait le lire Pines dans les écrits d'Avicenne. On peut même dire que la seule chose qu'elles ont toutes en commun, c'est de tourner le dos à ce principe, en maintenant la nécessité d'une cause au mouvement. Elles précèdent nécessairement les innovations galiléennes mais elles ne les préparent pas forcément. La tentation d'amalgamer toutes ces thèses dans la catégorie de « préludes au principe d'inertie » découle sans doute du rôle fondateur qui est attribué à sa formulation. En plaçant l'an zéro de la science classique en Europe au XVII^e siècle, on prend le risque d'induire une lecture univoque des thèses qui l'ont précédée, surtout si l'on utilise ce principe comme grille d'analyse des théories antérieures. On risque alors d'oblitérer complètement les « mouvements tectoniques » qui y sont à l'œuvre.

La théorie de l'accélération d'Abū l-Barakāt par une accumulation de *mayl*-s n'est pas non plus un prototype de la deuxième loi de Newton comme on a cru le déceler⁵¹. Elle n'affirme en aucun cas « qu'un corps soumis à une force constante subit un mouvement uniformément accéléré ». D'une part l'idée d'une accumulation d'*impetus* est une manière d'augmenter la force agissante sur le mobile pour augmenter sa vitesse, et d'autre part il est facile de montrer que cette thèse ne peut établir, en l'absence du principe d'inertie justement, l'égalité des incréments de *mayl* ajoutés les uns aux autres.

En revanche, si l'on abandonne ce prisme, le système du Monde d'Abū l-Barakāt contient des innovations particulièrement intéressantes. Nous avons évoqué la mise en cause radicale, chez Abū l-Barakāt, du concept de lieu qui est indissociable de sa conception du *mayl*. Il y substitue un espace absolu qui a de nombreux points communs avec celui dans lequel la physique se développera au XVII^e siècle. Nous n'avons pas pu développer ici la mise en cause qu'il a aussi produite de la conception aristotélicienne du temps, défini comme « nombre du mouvement dans l'avant et l'après ». Abū l-Barakāt dissocie totalement les deux notions, temps et mouvement, y compris celui des sphères, et construit un temps absolu qui pourrait précéder l'existence du monde. Dans le dernier chapitre de sa physique, il affirme distinguer la défense d'un temps infini, de celle d'une éternité du monde et des mouvements, considérant le premier comme fondamental mais la deuxième comme non-nécessaire.

L'espace tridimensionnel barakatien est aussi le lieu des sphères célestes qu'il ouvre — au moins potentiellement — sur l'infini. Abū l-Barakāt réfute les arguments tant d'Aristote que d'Avicenne, visant à démontrer « l'impossibilité de mouvement dans le

51. PINES, *Études*, p. 74.

vide qui n'a pas de fin» et résout ainsi la question du «lieu du Tout»: le monde n'a plus besoin d'être «enveloppé» dans un lieu puisqu'il est plongé dans un espace absolu.

Alors que Philopon avait clos son monde, et animé les sphères en leur donnant une *rhopè*, une impulsion initiale, Abū l-Barakāt les anime d'un *mayl*-«désir» analogue à celui d'un corps grave pour son lieu naturel, unifiant ainsi les deux mondes, sub et supra-lunaire. Il s'interroge aussi sur les irrégularités que l'on voit dans le ciel qui mettent en cause sa perfection et l'unicité de sa substance: la couleur de Mars, les taches sur la Lune, la Voie lactée. Sans aller jusqu'à affirmer, comme les mutazilites, que les astres sont faits du même élément que la Terre, il affirme la possibilité qu'ils soient «composés», s'opposant ainsi au dogme aristotélicien du cinquième élément, essentiel à l'éternité et l'immuabilité des cieux ainsi qu'au dualisme du monde.

Enfin la séparation, consacrée par des siècles d'aristotélisme, entre les mathématiques et le monde de la physique, est bousculée par ce philosophe. En adoptant l'espace des géomètres, Abū l-Barakāt place à l'intérieur du mobile les causes motrices. En admettant en outre, la coexistence des *mayl-s* dans un continuum, il construit une grandeur qui rend compte de la variation des mouvements, le forcé comme le naturel. Cette construction ne semble pas aller dans le «sens de l'histoire», et on sait aujourd'hui que les diverses théories de l'*impetus* devront être abandonnées pour passer à une mathématisation effective de la mécanique. Mais nous voyons que la physique d'Abū l-Barakāt ne peut se résumer à l'affirmation d'une inclination, dont la définition est d'ailleurs prise à Avicenne qui a, sur bien des points, des partis pris philosophiques radicalement opposés aux siens. Enfin et surtout l'évolution du continuum qu'il a imaginé est reliée à deux extensions continues, temps et espace, qu'il a définies comme indépendantes respectivement des mouvements et des corps, et pour lesquelles il a intégré des approches mathématiques tout à fait novatrices.

Cet espace et ce temps absolus qui forment le cadre de sa physique ont en commun avec ceux de la physique newtonienne de rendre enfin possible une théorie des variations du mouvement. Ce cadre est tout sauf anodin pour l'histoire de la discipline. Loin d'être la pâle imitation des thèses aristotéliennes que dénonçait Al-Ghazālī, la physique du Moyen Âge arabe a produit de véritables innovations dont la richesse et la portée méritent d'être réévaluées au sein de l'histoire générale de la discipline.