

Revue d'histoire des sciences

TOME 78 - 2025

SOIXANTE-DIX-HUITIÈME ANNÉE

Revue semestrielle
publiée avec le concours du CNL
et soutenue par l'Institut des sciences humaines et sociales du CNRS

FONDATION
POUR LA
SCIENCE


ARMAND
COLIN

Revue d'histoire des sciences

CAPHÉS (UAR 3610, CNRS – ENS-PSL)
45, rue d'Ulm - 75005 Paris - France
Tél. : +33(0)1 44 32 29 59
Email : contact-rhs@ens.fr
Pages web : <https://revues.caphes.ens.fr/rhs/>

FONDATEUR

Henri Berr (1863-1954), en 1947
La *Revue d'histoire des sciences*, propriété de la Fondation « Pour la science » – Centre international de synthèse, accueille des travaux concernant l'ensemble des sujets, domaines, méthodes et périodes de l'histoire des sciences.

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Dominique Bourel, président par intérim de la Fondation « Pour la science »

COMITÉ SCIENTIFIQUE

Vincent Barras – Michel Blay – Anastasios Brenner – Hugues Chabot – Olivier Darrigol – Matthias Dörries – François Duchesneau – Jean-Claude Dupont – Robert Fox (président) – Vincent Jullien – Eberhard Knobloch – Pierre Lamard – Michela Malpanetto – Efthymios Nicolaïdis – Jeanne Peiffer – David Plouviez – Stéphane Schmitt – Jonathan Simon – Brigitte Van Tiggelen

RÉDACTION

Rédacteur en chef
Emmylou Haffner
Secrétaire de rédaction
Erwan Penchèvre

COMITÉ DE RÉDACTION

José Ramón Bertomeu Sánchez – Cecilia Bognon – Laurence Bouquiaux – Stéphanie Dupouy – Aurélien Robert – Pierre Savaton

Périodicité
revue semestrielle

Impression
Imprimerie Dupli-print
95330 Domont

Dépôt légal
juin 2025, N°

Parution
juin 2025

ISSN
0151-4105

© Dunod Éditeur

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés réservés pour tous pays. En application de la loi du 1 juillet 1992, il est interdit de reproduire, même partiellement, la présente publication sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

All rights reserved. No part of this publication may be translated, reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or any other means, electronic, mechanical, photocopying recording or otherwise, without prior permission of the publisher.

Revue d'histoire des sciences

78-1 | janvier-juin 2025

Sommaire | *Contents*

Guilhem MANSION et Thibaud MARTINETTI 5-70

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers (*Myristica* Houtt.) : La controverse entre Fusée-Aublet et Poivre en regard des connaissances botaniques du siècle des Lumières | *The “manufacture of knowledge” about nutmeg trees (Myristica Houtt.): The controversy between Fusée-Aublet and Poivre over botanical knowledge in the Enlightenment*

Fabrice ROUX 71-103

Le primat de l'induction dans la phytosociologie upsalienne (1918-1940) : Convergences transdisciplinaires | *The primacy of induction for phytosociology in Uppsala (1918-1940): Transdisciplinary convergence*

Corto SANTANTONIO 105-140

Wissenschaft keine reine Verstandessache : Ernst Mach et le Cercle de Vienne | *Wissenschaft keine reine Verstandessache: Ernst Mach and the Vienna Circle*

Sébastien RIVAT 141-177

La genèse du groupe de renormalisation wilsonien | *The origin of Wilsonian renormalisation*

SOURCES ET RECHERCHE | *SOURCES AND RESEARCH*

Dominique RAYNAUD 179-235

Le *Traité des ombres* de Monge : Édition critique commentée | *Monge's Traité des ombres: A critical annotated edition*

ANALYSES D'OUVRAGES | *BOOK REVIEWS*

Liste des analyses d'ouvrages publiées dans ce numéro | *List of
book reviews published in this issue* 237

Analyses d'ouvrages | *Book reviews* 238-256

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers (*Myristica* Houtt.)

La controverse entre Fusée-Aublet et Poivre en regard des connaissances botaniques du siècle des Lumières *

Guilhem Mansion ** et Thibaud Martinetti ***

Résumé : En 1755, le rêve de l'ex-missionnaire Pierre Poivre (1719-1786) de transformer la colonie de l'île de France en comptoir d'épices fines est brisé par l'autorité scientifique locale, l'apothicaire-botaniste Jean-Baptiste Christophe Fusée-Aublet (1723-1778). Dans une série de rapports, ce dernier contredit violemment la validité des récoltes de muscadiers rapportés des Indes orientales par Poivre et dénonce ouvertement une fraude. La dimension rhétorique de cette controverse botanique a été récemment analysée qui laisse au second plan la question de l'identité véritable des spécimens en question. Cependant, le débat entre Poivre et Fusée-Aublet suppose qu'une détermination précise du muscadier (*Myristica fragrans* Houtt.) était possible au siècle des Lumières. Dans cet article, nous établissons dans un premier temps le portrait d'une plante dont on connaissait les parties actives (graine et macis), mais dont l'identité botanique n'est encore que fragmentaire au XVIII^e siècle. Nous proposons ensuite, par une analyse des « indices botaniques » détectés au sein de divers manuscrits, un inventaire quantitatif et qualitatif du matériel végétal ramené lors

* Nous tenons à remercier Alessia Guggisberg (ETH Zurich), ainsi que les relecteurs anonymes, pour leurs commentaires pertinents concernant différentes versions de cet article. Nos transcriptions sont issues de reproductions commandées aux Archives nationales d'Outre-Mer (ANOM), à la Bibliothèque nationale de France, ainsi qu'au Muséum national d'histoire naturelle (MNHN). Cet article est réalisé dans le cadre du projet de recherche « Botanical legacies from the Enlightenment : unexplored collections and texts at the crossroads between the humanities and the sciences », inscrit à l'Université de Neuchâtel et soutenu par le Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique (projet n° 186227).

** Guilhem Mansion, Université de Neuchâtel, Faculté des Sciences, Emile Argand 11, 2000 Neuchâtel, Suisse. Email : guilhem mansion@gmail.com.

*** Thibaud Martinetti, Université de Neuchâtel, Faculté des lettres et sciences humaines, Espace Tilo-Frey 1, 2000 Neuchâtel, Suisse. Email : thibaud.martinetti@gmail.com.

des diverses expéditions de Poivre (1753, 1755). Nous examinons enfin la méthodologie mise en œuvre pour la détermination de cette espèce végétale à très haute valeur économique et mettons en évidence les nombreux obstacles – factuels ou épistémiques – qui ont entravé le savoir botanique des Lumières.

Mots-clés : botanique coloniale; Jean-Baptiste Christophe Fusée-Aublet; Pierre Poivre; île de France; île Maurice; macis; noix de muscade; noix d’arec.

Summary: *In 1755, ex-missionary Pierre Poivre’s (1719-1786) dream of transforming the colony of Mauritius into a fine spice trading post was shattered by the local scientific authority, apothecary-botanist Jean-Baptiste Christophe Fusée-Aublet (1723-1778). In a series of reports, Fusée-Aublet violently contradicted the value of the nutmeg harvests brought back from the East Indies by Poivre and openly denounced it as a case of fraud. The rhetorical dimension of this botanical controversy has recently been analysed, leaving in the background the question of the true identity of the specimens in question. However, the debate between Poivre and Fusée-Aublet implies that a precise determination of the nutmeg tree (*Myristica fragrans* Houtt.) was possible in the Age of Enlightenment. In this article, we first describe a plant whose active parts (seed and mace) were known, but whose botanical identity was still only fragmentary in the 18th century. We then propose a quantitative and qualitative inventory of the plant material brought back during Poivre’s various expeditions (1753, 1755), based on an analysis of the “botanical clues” found in various manuscripts. Finally, we examine the methodology used to determine this plant species of very high economic value, and highlight the many obstacles – both factual and epistemic – that hampered Enlightenment botanical knowledge.*

Keywords: colonial botany; Jean-Baptiste Christophe Fusée-Aublet; Pierre Poivre; Mauritius; mace; nutmeg; areca nut.

Introduction

Lorsqu’il est nommé Gouverneur général des Mascareignes en 1733, Bertrand-François Mahé de La Bourdonnais (1699-1753) ne peut que constater l’état précaire de l’île de France. En moins d’un siècle, en effet, la politique de profit à court terme menée par la VOC (Compagnie néerlandaise des Indes orientales), ancien maître des lieux, a conduit à l’éradication des forêts d’ébène et laissé pour longtemps les traces d’une exploitation humaine

non maîtrisée¹. Tout reste à faire pour celui qui envisage le développement à long terme d'une escale sur la route maritime vers l'Inde et les établissements français de Pondichéry ou Chandernagor. En quelques années, le gouverneur développe une infrastructure basée sur une politique d'accumulation de connaissances, de compétences et, surtout, de ressources². La réussite du projet nécessite notamment la centralisation de denrées végétales « utiles » et passe par l'acclimatation de plantes introduites, alimentaires (blé, canne à sucre, manioc, riz), industrielles (coton, indigo) et médicinales. En favorisant une véritable politique de transplantation de plantes entre la métropole et la colonie, La Bourdonnais a également éveillé l'intérêt de la Compagnie française des Indes Orientales (ci-après, « Compagnie ») pour qui les Mascareignes pourraient devenir un lieu idéal d'acclimatation des épices fines comme le muscadier (*Myristica fragrans* Houtt., Myristicaceae) ou le giroflier (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry, Myrtaceae), alors monopolisées par la VOC. Ainsi, en cette première moitié du XVIII^e siècle, la première espèce, naturellement endémique de l'archipel des Banda³, n'est plus récoltée que sur trois îlots (Banda Neira, Banda Besar, Ai), les populations résiduelles ayant été irrémédiablement détruites afin de mieux contrôler le marché⁴.

Missionnaire formé au séminaire de la Société des Missions Étrangères à Paris, Pierre Poivre (1719-1786) « embarque le 17 janvier 1741 à bord du *Moras*, vaisseau de la Compagnie, pour rejoindre la mission du Tonkin⁵ ». Le 3 février 1745, suite à une canonnade entre son vaisseau et des navires anglais, sa main droite est frappée par un boulet de canon. La gangrène menace

1 - Lissa Roberts, « Le centre de toutes choses » : Constructing and managing centralization on the Isle de France, *History of science*, 52/3 (2014), 319-342. Roberts écrit, p. 322 : *By the time the VOC abandoned Mauritius in 1710, settling the island seemed as likely as the return of its dodos.*

2 - *Ibid.*, 320.

3 - Otto Warburg, *Die Muskatnuss : Ihre Geschichte, Botanik, Kultur, Handel und Verwerthung* (Leipzig : Wilhelm Engelmann, 1897).

4 - Jurrien Van Goor et Goor Van Foskelien, *Prelude to colonialism : The Dutch in Asia* (Hilversum : Uitgeverij Verloren, 2004).

5 - Olivier Le Gouic, Pierre Poivre et les épices : Une transplantation réussie ? in Sylviane Llinarès et Philippe Hrodej (dir.), *Techniques et colonies (XVI^e-XX^e siècles)* (Paris : Publications de la Société française d'histoire des outre-mers, 2005), 103-126, ici 105.

son avant-bras qui est amputé par un chirurgien anglais. Il est alors débarqué à Batavia où il se passionne pour la faune et la flore exotiques et où il réalise leur potentiel alimentaire, médicinal et économique⁶ :

Pendant quatre mois il découvre la petite colonie néerlandaise, observe tout et note scrupuleusement ses impressions. Son goût pour la botanique l'amène à s'intéresser aux mystérieuses épices que les Hollandais cultivent alors aux Moluques. Il constate non seulement qu'ils en tirent un profit substantiel, mais aussi que le soin apporté à la défense de leur monopole est tel qu'un édit punit de la peine de mort quiconque tenterait de s'emparer de graines ou de plants d'arbres à épices⁷.

En 1746, Poivre se rend à Pondichéry où il embarque le 29 octobre sur l'Achille, à destination de l'île de France. Son séjour lui fait prendre conscience des avantages que présente cette région pour la culture des épices :

Je voyais une Isle dont la vingtieme partie deffrichée et mise en valeur suffisait pour remplir l'objet de la Compagnie, en fournissant à sa Marine les avituaillemens [sic] nécessaires. Des 19 parties du terrain qui restoient en friche, une seule, ou deux, pouvoit suffire à la culture d'autant de muscadiers et de géroffliers qu'il en faudroit pour produire annuellement la moitié des épiceries que l'Univers consomme, et nous faire partager avec les Hollandais les profits immenses de ce commerce qu'ils possèdent seuls jusqu'à présent⁸.

Pour Poivre, la prospection de la zone périphérique des îles Banda, moins surveillée, devrait offrir l'opportunité de se procurer des jeunes plants de muscadiers du commerce ayant échappé à l'éradication pratiquée par la VOC, afin de les cultiver à l'île de France. Il fait part de son projet à Pierre Félix Barthélemy David (1710-1795), gouverneur général de l'île de France, qui le

6 - Ses nombreux envois à Réaumur lui vaudront d'être nommé membre correspondant de l'Académie des sciences en septembre 1754. Concernant l'abondante littérature sur Pierre Poivre, voir : Thibaud Martinetti et Guilhem Mansion, Un Argonaute aux prises avec un apothicaire : Rhétorique et botanique dans la polémique des muscadiers à l'île de France (1753-1757), *Revue d'histoire des sciences*, 76/1 (2023), 41-83, ici 43, notes 1-4.

7 - Le Gouic, *op. cit.* in n. 5.

8 - Pierre Poivre, Relation abrégée des voyages faits par le Sieur [Poivre] pour le service de la Compagnie des Indes, depuis 1748, jusqu'en 1757, éd. par Henri Cordier, *Revue de l'histoire des colonies françaises*, 6/1 (1918), 8-88, ici 13-14.

recommande à son père, Liliot-Antoine David (1682-1770), alors directeur de la Compagnie. Le 15 juin 1748, Poivre soumet aux directeurs de la Compagnie un mémoire dans lequel il expose ses desseins commerciaux en Cochinchine et son projet d'acclimatation des épices⁹. Poivre se voit autorisé à mener deux grands voyages à la recherche de muscadiers et de girofliers, le premier devant l'amener dans les Philippines (juin 1750 – novembre 1753), le second dans le Timor oriental (1er mai 1754 – 8 juin 1755). Le 2 juin 1750, Poivre quitte l'île de France à bord du vaisseau le *Mascarin*, affrété par le gouverneur David. Sa mission consiste à rejoindre Faïfo, en Cochinchine, afin d'y négocier la mise en place d'un comptoir de commerce¹⁰. Il arrive à Canton (14 août 1750), où il séjourne huit mois, puis rejoint Macao (25 avril 1751) et embarque finalement sur le *Santa Rita* qui le mène à Manille (25 mai 1751). Après de nombreux déboires, il rencontre un marchand chinois qui lui procure plus de 3 000 noix de muscade « toutes fraîches, dans leur coque et quelques-unes avec leurs macis¹¹ ». Après avoir semé les graines, il obtient trente-deux plants de « muscadiers beaux et vigoureux » et décide de mettre un terme à sa mission. Durant le long voyage qui le ramène à l'île Maurice (21 février – 2 novembre 1753), les fragiles plants soumis aux conditions éprouvantes du transport maritime¹² meurent les uns après les autres. Poivre ne ramène finalement que cinq plants qu'il s'empresse de redistribuer sur place à des « personnes de confiance¹³ ».

Conscient du faible succès de sa première mission, Poivre souhaite poursuivre ses investigations sur l'île de Timor. Jean-Baptiste Charles Bouvet de Lozier (1706-1788), alors gouverneur général par intérim des Mascareignes, lui remet une « mauvaise frégate », la *Colombe*, sur laquelle il embarque le 1er mai 1754. Le 10 avril 1755, il débarque dans la colonie portugaise de Lifau et obtient du gouverneur de Timor des bailles contenant une

9 - Poivre, *op. cit.* in n. 8, 15-17.

10 - Madeleine Ly-Tio-Fane, *Mauritius and the spice trade : The odyssey of Pierre Poivre* (Port Louis, Maurice : Esclapon, 1958).

11 - Poivre, *op. cit.* in n. 8, 48-49.

12 - Dorit Brixius, La Production du savoir botanique sur le terrain : Les défis d'acclimatation de la noix de muscade sur l'île Maurice (1748-1783), *Francia*, 46 (2019), 301-317.

13 - Poivre, *op. cit.* in n. 8, 48-49.

dizaine de spécimens de muscadiers¹⁴. Le 8 juin 1755, Poivre est de retour à l'île de France, mais ce n'est que le 30 septembre 1755 qu'il adresse une requête à Bouvet de Lozier et aux membres du Conseil Supérieur de l'île de France, afin de faire certifier officiellement son matériel botanique. Le 1er octobre 1755, il soumet au comité la description botanique d'un unique plant vivant de muscadier ramené de Timor, ainsi que deux spécimens chétifs à expertiser, à savoir une jeune plantule et une graine germée. Jean-Baptiste Christophe Fusée-Aublet (1723-1778), officiellement «Botaniste & premier Apothicaire-compositeur de la Compagnie des Indes à l'Isle de France¹⁵», est appelé afin de ratifier la validité du matériel timorais. Au lieu d'un simple et rapide exercice de routine, vu l'indigence de la récolte, la situation devient très vite conflictuelle et dégénère en une violente altercation entre Fusée-Aublet et Poivre. Le premier conteste à la fois l'inventaire et la détermination botaniques d'un matériel qualifié de frauduleux; le second met en doute l'expertise botanique et les compétences scientifiques de son adversaire.

Dans un article précédent¹⁶ intitulé «Un Argonaute aux prises avec un apothicaire : Rhétorique et botanique dans la polémique des muscadiers à l'île de France (1753-1757)», nous avons relevé la prépondérance de l'argumentation rhétorique sur l'argumentation scientifique dans cette controverse botanique : des éléments contextuels ont progressivement détourné le discours scientifique, descriptif et nominatif, vers un régime narratif, juridique et polémique, dont le but n'était plus de connaître la nature de l'objet scientifique mais de remettre en cause l'autorité savante de l'adversaire. Dans ce présent article, nous souhaiterions élargir notre propos à l'histoire des connaissances et des représentations botaniques du muscadier qui sont à la disposition de Poivre et de Fusée-Aublet au moment de leur controverse, et ceci, afin de mieux comprendre dans quelle mesure il était possible ou non pour eux d'identifier cette

14 - Pierre Poivre, «Mrs du comité secret a l'isle de France», ms. du 15 novembre 1755 (ANOM, Col. C/4/9), fol. 103-111, ici fol. 107.

15 - Concernant l'expertise scientifique de Fusée-Aublet, on consultera Guilhem Mansion, La Formation savante singulière du botaniste Fusée-Aublet au mitan du XVIII^e siècle (1740-1753), *Archives internationales d'histoire des sciences*, 2025 (à paraître).

16 - Martinetti et Mansion, *op. cit.* in n. 6.

plante exotique en fonction des principes méthodologiques appliqués par les botanistes de leur époque. Comme l'a déjà souligné Emma Spary, les naturalistes français du XVIII^e siècle ne possèdent aucune expérience empirique des muscadiers : « No French botanist had seen a nutmeg plant, so Poivre's specimen could not be compared on the basis of experience; because it could not be compared, it could not be identified¹⁷ ». Dans ces conditions, en l'absence d'éléments de comparaison – de « types nomenclaturaux¹⁸ » – et compte tenu de la paucité de la documentation scientifique en 1755, comment les botanistes pouvaient-ils reconnaître avec certitude le muscadier du commerce, encore appelé muscadier vrai ou femelle (*Myristica fragrans* Houtt.), voire détecter d'éventuelles fraudes, tels les muscadiers « mâles » ou « sauvages » (*Myristica fatua* Houtt.)? Que ramène exactement Poivre de ses différents voyages? Fusée-Aublet pouvait-il vraiment déterminer ce matériel? Quels sont les obstacles à la méthode d'identification utilisée par les deux protagonistes?

Pour répondre à ces questions, nous proposons une synthèse historique de la connaissance du muscadier, de l'Antiquité au XVIII^e siècle. Nous mettons notamment en évidence les difficultés qui ont retardé la connaissance d'une plante dont on utilisait les parties actives – la graine et le macis – mais dont l'identité est longtemps restée secrète ou déformée. Fort de ce portrait botanique, nous établissons un inventaire quantitatif et qualitatif du matériel ramené par Poivre. Si, faute de témoins conservés, les échantillons de Poivre sont condamnés à rester anonymes, il n'en reste pas moins de nombreux « indices botaniques » manuscrits qui peuvent être rapprochés ou non d'une connaissance objective du muscadier. Enfin, une analyse de la méthode d'identification employée par Fusée-Aublet et Poivre permet de révéler un ensemble d'obstacles factuels, méthodologiques et épistémiques inhérents à la détermination d'une plante exotique dans le contexte colonial.

17 - Emma C. Spary, Of nutmegs and botanists, in Londa Schiebinger et Claudia Swan (dir.), *Colonial botany : Science, commerce, and politics in the early modern world*, vol. 12 (Philadelphie : University of Pennsylvania Press, 2005), 145-157.

18 - Un type nomenclatural est un spécimen auquel le nom d'un taxon est attaché de manière permanente. Nicholas Turland, *The Code decoded : A user's guide to the International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants*, 2^e éd., vol. 1 (Sofia, Bulgarie : Pensoft Publishers, 2019), p. 16-17.

L'image savante du muscadier en 1755

Il faut attendre la fin du XIX^e siècle et la publication d'une imposante monographie par Otto Warburg (1859-1918), pour obtenir un portrait botanique satisfaisant du muscadier¹⁹. Cet ouvrage fondamental d'un point de vue botanique, économique et historique, met en évidence les nombreuses difficultés qui ont retardé la connaissance savante d'une plante dont on ne connaissait que certaines parties aromatiques, à savoir la graine et le macis du commerce.

Si l'on s'accorde généralement sur le fait que la noix de muscade est absente des archives européennes avant le Moyen Âge²⁰, cette opinion est parfois remise en question par des allusions potentielles à cette épice dans les ouvrages anciens²¹. Théophraste (vers 371-287 av. J.-C.) évoque ainsi le « komakon » un fruit qui « entre dans la composition des parfums les plus raffinés » et qui diffère des autres aromates connus²². Beaucoup plus tard, Pline l'Ancien (vers 23-79) affirme que le « comacum » de Syrie est « le jus exprimé d'une noix²³ ». Quelle que soit l'identité réelle de ce komakon / comacum, les preuves archéobotaniques d'une éventuelle utilisation du muscadier dans la Méditerranée antique restent peu concluantes. Parmi les paléo-restes candidats, les plus proches en apparence se sont révélés être des graines de palmiers²⁴. Demeure alors une possibilité indirecte avec la mention par Pline du « karyophyllon », le giroflier actuel, dans le commerce méditerranéen du I^{er} siècle de notre ère²⁵. Les deux épices étant originaires de l'archipel des Moluques, leur exportation commune depuis l'Indonésie vers le bassin mé-

19 - Warburg, *op. cit.* in n. 3.

20 - Barbara Pickersgill, The migration of plants : Spices, in Ghilleen Prance et Mark Nesbitt (dir.), *The Cultural history of plants* (Routledge, 2005), 153-172.

21 - Carl Fraas, *Synopsis plantarum florum classicae* (Munich : E. A. Fleischmann, 1845), 135.

22 - Suzanne Amigues, Végétaux et aromates de l'Orient dans le monde antique, *Topoi*, 12/1 (2005), 359-383, p. 376.

23 - Pline l'Ancien, *Histoire naturelle*, trad. Émile Littré, 2 vol., vol. 1 (Paris : Firmin-Didot, 1877), 496.

24 - Renate Germer, *Flora des pharaonischen Ägypten* (Mainz am Rhein : Phillip von Zabern, 1985), 15 ; Christian de Vartavan et Victoria Asensi Amorós (éd.), *Codex of ancient Egyptian plant remains / Codex des restes végétaux de l'Égypte ancienne* (Londres : Triade Exploration, 1997), 178.

25 - Pline l'Ancien, *op. cit.* in n. 23, 479.

diterranéen reste envisageable²⁶. Enfin, la présence de la noix de muscade en Europe antique a parfois été déduite des noms « makir », « maker » ou « macir », mentionnés respectivement par Dioscoride (vers 25-90), Galien (vers 129-216) et Pline l'An-cien : ces appellations évoquant le macis font en fait référence à une écorce indienne indéterminée²⁷.

Si l'utilisation antique du muscadier reste spéculative, il semble qu'à partir du VI^e siècle, l'épice se soit rapidement répandue depuis l'Inde et le Moyen-Orient, pour finalement atteindre Constantinople²⁸. Au X^e siècle, le médecin perse Avicenne (980-1037) décrit le macis – *bisbasah* – comme l'écorce rougeâtre de la noix de muscade²⁹. L'épice était alors couramment employée au Moyen-Orient et en Arabie, véritables plaques tournantes pour le commerce de la noix durant tout le haut Moyen Âge. Au XIII^e siècle, les Européens commenceront à négocier directement avec la Chine et les pays du lointain Orient, en empruntant les célèbres routes de la soie. C'est le cas de Marco Polo (1254-1324), le marchand vénitien étant le premier à avancer l'hypothèse d'une origine insulaire de l'épice : « [sur l'île de Java] il y a une grande abondance de poivre, de muscade, de gingembre et d'autres épices³⁰ ». Il faut cependant attendre 1505 pour que le voyageur italien Ludovico di Barthema (1470-1517) donne une première description des muscadiers, tels qu'on peut les observer à l'état sauvage sur les îles Banda. Outre leur abondance, di Barthema souligne la similitude entre le macis et une rose ouverte :

Qui non nasce altre cose che noci moscate: il piede della noce moscata è fatto a modo di uno arboro persico e fa la foglia in quel modo, ma sono più strette, e avanti che la noce abbia la sua perfezione, li macis stanno intorno come una rosa aperta, e quando la

26 - Jacques André et Jean Filliozat, *L'Inde vue de Rome* (Paris : Les Belles Lettres, 1986), 360.

27 - Louis de Jaucourt, art. « Macer », *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* (Neufchâtel [= Paris] : Samuel Faulche, 1765).

28 - Pickersgill, *op. cit.* in n. 20, 155.

29 - Avicenna, *Canon of medicine*, livre 2, *Materia medica*, trad. anglaise par Hakim Abdul Hameed et al. (New Delhi, India : Jamia Hamdard, 1998), 95.

30 - Marco Polo, *Le Devisement du monde*, texte établi par Eugène Müller (Paris : De-lagrave, 1888), 275.

*noce è matura il macis l'abbraccia*³¹.

La publication de di Barthema n'était certainement pas connue de Duarte Barbosa (1480-1521) qui, le premier, dresse un tableau de cinq îlots qui composent l'archipel des Banda et affirme que les noix de muscade poussent naturellement dans trois d'entre eux. Il note que les noix, localement très abondantes, sont presque sans valeur et souvent brûlées. D'un point de vue botanique, il remarque une similitude générale avec le laurier et assimile le macis à une fleur³². Peu après, Antonio Pigafetta (1491-1531), chroniqueur italien de la première circumnavigation par Magellan (1519-1522), décrit également le muscadier sur l'île d'Halmahera, ou Gilolo, dans les Moluques :

*In dette isole si truovano ancora alcuni arbori delle noci moscate, li quali sono come l'arbor della noce nostra, e della medesima foglia. Quando la noce moscata si coglie, è grande come un cotogno, con una pelle disopra del medesimo colore. La sua prima scorza è grossa come è la scorza verde della nostra noce, sotto la quale è una tela sottile, la qual cuopre il macis, molto rosso, inviluppato intorno allo scorzo della noce: e dentro di quella è la noce moscata*³³.

Inspirés par ces premiers rapports, pourtant écrits par des voyageurs non naturalistes, les botanistes du xvi^e siècle ont décliné une description livresque et très idéalisée du muscadier. Une sorte de consensus s'établit autour d'un petit arbuste similaire à un pêcher, un laurier ou un noyer, dont le fruit, rappelant une pêche ou un coing, renferme une « noix » ligneuse, partiellement entourée du macis rouge vif, très semblable à une fleur de rosier. Ces premières descriptions, brèves mais exactes, par les navigateurs portugais, sont souvent déformées au point d'entraî-

31 - « Itinerario di Lodovico Barthema. Dell'isola di Bandan, dove nascono le noci moscate e macis », in Giovanni Battista Ramusio, *Delle navigazione e viaggi*, 2^e éd., 6 vol., vol. 1 (Milan: Giulio Einaudi, 1554), 379-449, p. 433.

32 - « Discorso sopra il Libro di Odoardo Barbosa e sopra il Sommario delle Indie orientali. L'isola di Bandam », in Giovanni Battista Ramusio, *Delle navigazione e viaggi*, 2^e éd., 6 vol., vol. 2 (Milan : Giulio Einaudi, 1554), 712-801. Barbosa écrit, p. 790 : *il suo frutto è la noce, e sopra la noce vi è il macis a modo di fiore, e sopra quello vi è un'altra scorza grossa*.

33 - « Viaggio atorno il mondo fatto e descritto per messer Antonio Pigafetta vicentino, cavalier di Rhodi. [...] Delle noci moscate e sua descrizione », in Giovanni Battista Ramusio, *Delle navigazione e viaggi*, 2^e éd., 6 vol., vol. 2 (Milan: Giulio Einaudi, 1554), 840-880, p. 871.

ner une perception erronée du macis et de la fleur du muscadier. La vision poétique de la « rose ouverte » de di Barthema a parfois enflammé l'imagination des botanistes des xvi^e et xvii^e siècles qui ont interprété ce tissu singulier de multiples façons. Alors que certains auteurs inspirés par le terme *macer*, l'écorce des auteurs anciens, considéraient le macis comme la coque du fruit³⁴, d'autres l'assimilaient simplement à une « fleur de muscade »³⁵. Ce n'est qu'en 1572 que Pietro Andrea Mattioli (1501-1577) publie une première description du macis : « revestue au reste de macis, qui lui sert comme de filé : lequel apres estre rompu, sort la noix muscade »³⁶. Cristóbal Acosta (1515-1594) précise encore qu'il s'agit d'un tissu riche en huile, entourant fortement la graine au point de la creuser, une description unanimement acceptée par la suite³⁷. Bien que Mattioli ait parfaitement compris la structure du macis, il a néanmoins fourni, dans certaines versions de ses *Commentaires*, un dessin approximatif représentant une jeune noix entourée d'un arille segmenté en cinq parties (fig. 1). Sur la base de cette illustration mal interprétée, Tabernaemontanus (1522-1590) transmet à la postérité le portrait d'une fleur « enflammée comme une rose ouverte »³⁸. Cette figure déformée a vraisemblablement conduit Willem Piso (1611-1678) à décrire une fleur peu odorante, similaire en forme et en taille à celle du poirier ou du cerisier³⁹. Cette erreur va persister dans la plupart des descriptions botaniques du xvii^e siècle et se retrouve encore dans des ouvrages du xviii^e siècle comme le

34 - C'est le cas de Valerius Cordus (1515-1544), de Matthias de Lobel (1538-1616), ou d'Andrea Cesalpino (1524-1603). Valerius Cordus, *Annotationes in Pedacii Dioscoridis* (Strasbourg : impr. Josias Rihel, 1561), 193; Matthias de Lobel, *Plantarum seu stirpium historia* (Anvers : impr. Christophe Plantin, 1576), 570; Andrea Cesalpino, *De plantis libri* (Florence : Giorgio Marescotti, 1583), 83-84.

35 - Adam Lonicer (1528-1586), notamment, utilise les termes de *Muscatenblum* ou *rothe Blüt*. Adam Lonicer, *Kreuterbuch : Künstliche Conterfeytunge der Bäume, Stauden, Hecken, Kreuter, Getreyde, Gewürtze* (Francfort, 1582), 298.

36 - Pietro Andrea Mattioli, *Commentaires sur les six livres de Pedacion Dioscoride d'Anazarbe de La Matière médicinale [...]*, trad. en français par J. des Moulins (Lyon : Guillaume Rouillé, 1572), 142.

37 - [...] *de tal fuerte esta pegada esta Macis a la dura Nuez que hace en ella eminencias y vestigios* (Cristóbal Acosta, *Tractado de las drogas, y medicinas de las Indias orientales* (Burgos : Martin de Victoria, 1578), 37.)

38 - *Sehr voller Blüte [...] ausgebreitet gleich einer offenen Rosen* (Tabernaemontanus, *Neuw Kreuterbuch, Bearbeitung durch Caspar Bauhin* (Francfort : Nicolaus Basseus, 1613), 639.)

39 - *Flores floribus Pyri Cerasi sunt, & magnitudine pares, & colore similes, quique facile cadant, & parum fragrant* (Willem Piso, *De Indiae utriusque re naturali et medica libri quatuordecim*, vol. 6, *Mantissa aromatica* (Amsterdam : Elzevier, 1658), 174.)

*Museum museorum*⁴⁰, la *Matière médicale*⁴¹ ou l'*Encyclopédie*⁴². Avec le temps, l'association entre le macis et la corolle de certains arbres fruitiers (Rosaceae) a eu des répercussions inconscientes sur l'aspect général du muscadier, arbuste qui commence à ressembler à un pêcher⁴³, un poirier⁴⁴, voire à une sorte de noyer chimérique⁴⁵.

Au début du xvii^e siècle, Carolus Clusius (1526-1609) donne une première description que l'on pourrait qualifier de « scientifique », car réalisée à partir de l'observation d'un témoin végétal⁴⁶ : il s'agit d'une branche fructifère conservée dans de l'eau salée et certainement rapportée lors de la seconde expédition de la VOC aux Moluques, en 1601-1602. Ce précieux témoin donne une représentation partielle mais objective de la plante. La feuille a une forme similaire à celle du laurier et possède une marge lisse⁴⁷. Le fruit, de la grosseur d'une pêche, est constitué de quatre parties successives formant de l'extérieur vers l'intérieur : (i) une enveloppe externe jaunâtre, relativement charnue; (ii) un arille ou macis en forme de réseau; (iii) une enveloppe interne sombre et cassante portant les traces du macis; et (iv), une graine centrale plus ou moins ovoïde⁴⁸. Curieusement, les travaux de Clusius n'ont pas reçu l'accueil escompté et la plupart des botanistes du xvii^e siècle continue à confondre les feuilles du muscadier avec celles de divers arbustes classés aujourd'hui dans la famille des Rosaceae⁴⁹.

40 - *Blühet wie die Kirschen* (Michael Bernhard Valentini, *Museum museorum* (Frankfort : Johann David Zünners, 1704), 290.)

41 - « Les fleurs sont jaunâtres, à cinq pétales, semblables à celles du Cerisier » (Étienne François Geoffroy, *Traité de la matière médicale*, 7 vol., vol. 3, *Traité des végétaux*, section 1, *Des médicaments exotiques* (Paris : Desaint & Saillant, 1743), 309-327, p. 313.)

42 - Louis de Jaucourt, art. « Muscadier », *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* (Neufchâtel [= Paris] : Samuel Faulche, 1765), 883. Jaucourt reprend la description de Geoffroy.

43 - Mattioli, *op. cit.* in n. 36, 142.

44 - Acosta, *op. cit.* in n. 37, 36.

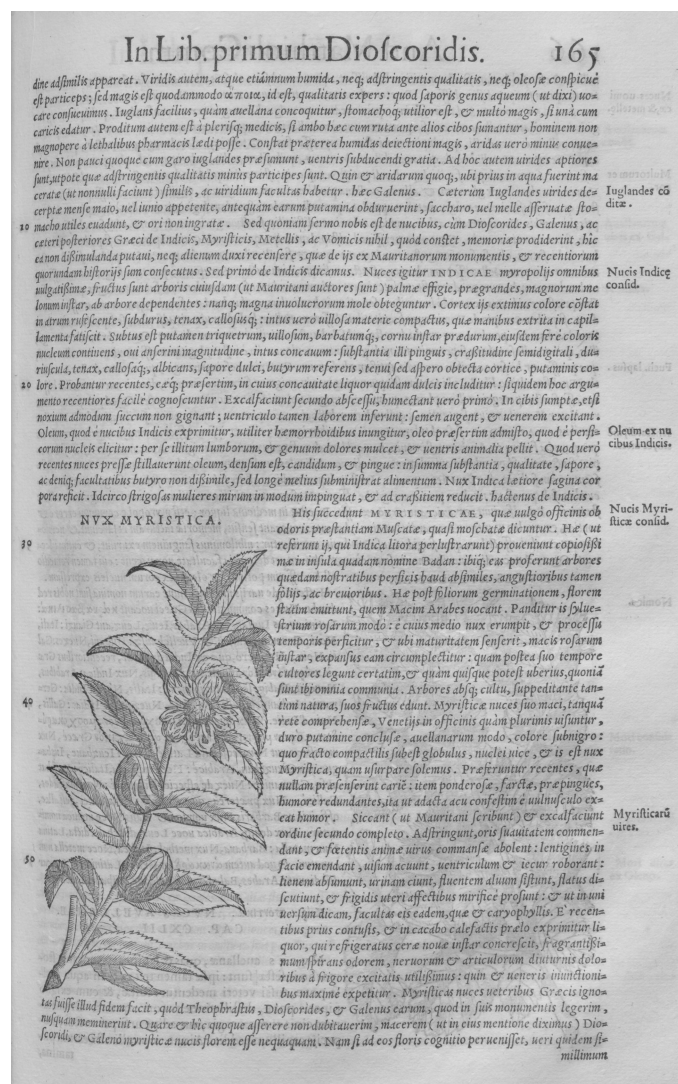
45 - Cesalpino, *op. cit.* in n. 34, 83.

46 - Carolus Clusius, *Exoticorum libri decem* (Leyde : impr. Raphelengius, 1605), 13-15; 178-179.

47 - Carolus Clusius, *op. cit.* in n. 46, 13-14.

48 - Carolus Clusius, *op. cit.* in n. 46, 178-179.

49 - Caspar Bauhin, *Pinax theatri botanici* (Bâle : impr. Joannes Regis, 1623), p. 407; Piso, *op. cit.* in n. 39, 174.



Cette représentation a transmis la vision poétique d'une fleur « enflammée comme une rose ouverte ».

Source : Pietro Andrea Mattioli, *Commentarii secundo aucti in libros sex Pedacii Dioscoridis Anazarbei de medica materia* (Venetiis : Ex officina Erasmiana, Vincentii Valgrisi, 1558), 165. Universitätsbibliothek Bern, Public Domain Mark, <https://doi.org/10.3931/e-rara-120068>.

Figure 1
Dessin du muscadier représentant une jeune noix
entourée d'un arille segmenté en cinq parties

Indirectement, les fréquentes demandes de Clusius, en plantes exotiques et autres curiosités naturelles⁵⁰, attisent la convoitise commerciale de la jeune VOC. Elles suscitent surtout la vocation de jeunes botanistes hollandais pour la flore tropicale des Indes occidentales, avec Willem Piso au Brésil, et surtout des Indes orientales, avec Hendrik Adriaan Van Reede tot Drakenstein (1636-1691) à Malabar, Paul Hermann (1646-1695) à Ceylan et Georg Everhard Rumphius (1627-1702) à Ambon. Naturaliste autodidacte, Rumphius a laissé un nombre impressionnant de manuscrits, non publiés de son vivant, sur l'histoire, la géographie, la zoologie, ou la botanique. Ainsi, son *Herbarium Amboinense* n'est publié qu'à partir de 1741, par Johannes Burman (1707-1780). Ce dernier, alors directeur du Jardin botanique d'Amsterdam, reçoit en 1735 seulement l'autorisation de la VOC de produire une version bilingue, latin-hollandais, de ce manuscrit « sensible » récemment traduit en anglais⁵¹. Dans cette œuvre fondamentale, Rumphius donne une première description précise, quoiqu'incomplète, du muscadier « vrai » ou « femelle » qu'il nomme *Nux myristica* ou Pala (*Myristica fragrans* Houtt.). Il en reconnaît également cinq variants : (1) Pala Bacambar, ou noix jumelles; (2) Pala Pentsjuri, ou noix des voleurs; (3) Pala Radja; (4) Pala Hollanda, avec un macis blanc jaunâtre; (5) Pala Domine, avec un macis peu couvrant. Ainsi, Rumphius distingue bien l'espèce type, aux graines arrondies, plus ou moins allongées (fig. 2), de six autres « muscadiers sauvages », aux graines oblongues, plus longues que larges. Parmi ces derniers, seul le muscadier « mâle » (*Nux myristica mas*) appartient au genre *Myristica* (*Myristica fatua* Houtt.). Les cinq autres espèces dites « sauvages » sont actuellement classées dans les genres respectifs⁵² *Horsfeldia* (« Palala secunda », « Palala tertia » et « Palala aruana »; fig. 3), *Gymnacranthera* (« Palala quinta ») et *Knema* (« Palala sexta »).

50 - Claudia Swan, Collecting naturalia in the shadow of early modern Dutch trade, in Londa Schiebinger et Claudia Swan (dir.), *Colonial botany : Science, commerce, and politics in the early modern world*, vol. 12 (Philadelphie : University of Pennsylvania Press, 2005), 172-181 ; Pieter Baas et Jan Frits Veldkamp, Dutch pre-colonial botany and Rumphius's Ambonese herbal, *Allertonia*, 13 (2014), 9-19.

51 - Georg Eberhard Rumphius, *The Ambonese herbal*, trad. E. M. Beekman, 6 vol., vol. 1 (New Haven : Yale University Press, 2011), p. 23-46.

52 - Elmer Drew Merrill, *An interpretation of Rumphius's Herbarium Amboinense* (Manille : Bureau of printing, 1917), 229-232.

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers



Source : Bibliothèque du Muséum national d'histoire naturelle, Collection du Carporama d'Argenteuil.

Figure 2

Modèle en cire de rameaux fructifères de « *Myristica aromatica* » (« muscadier vrai », « muscadier femelle », *Myristica fragrans* Houtt.), réalisé par Louis Marc Antoine Robillard d'Argenteuil (1777-1828) à l'île de France, entre 1803 et 1826



Source : Bibliothèque du Muséum national d'histoire naturelle, Collection du Carporama d'Argentelle.

Figure 3

Modèle en cire de rameaux fructifères de « *Myristica sylvestris* » (« muscadier sauvage », « *palala secunda* », *Horsfieldia sylvestris* (Houtt.) Warb.), réalisé par Louis Marc Antoine Robillard d'Argentelle (1777-1828) à l'île de France, entre 1803 et 1826

Rumphius décrit en fait la fleur d'un individu femelle du muscadier vrai⁵³, avec un « calice en trois parties enfermant le style ». C'est sur la base de ce portrait encore incomplet que le jeune Linné (1707-1778) – qui accède, via Burman, aux manuscrits non publiés de Rumphius⁵⁴ – propose pour la première fois le nom générique de *Myristica* pour désigner l'ensemble des muscadiers⁵⁵. En l'absence de fleurs mâles, Linné ne peut introduire le genre *Myristica* dans son système sexuel, basé sur le nombre d'étamines, ni en publier les différentes espèces dans la première édition du *Species plantarum*⁵⁶. Le nom générique *Myristica* sera validement publié deux ans plus tard, en 1755, par le botaniste hollandais Jan Frederik Gronovius (1686-1762). Ainsi, en 1755, au moment de la controverse entre Fusée-Aublet et Poivre, le muscadier ne possède pas encore de nom linnéen et c'est sa description effectuée par Rumphius qui fait autorité dans le monde la botanique. Il faudra attendre la fin du siècle pour que soit proposée une première description complète et précise du genre et de ses différentes espèces. Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829), sur la base d'échantillons donnés par Pierre Sonnerat⁵⁷ (1748-1814), décrit finalement les fleurs mâles du muscadier vrai comme ayant « 12 étamines, avec des anthères et des filaments fusionnés⁵⁸ ».

Inventaire des récoltes de Poivre

C'est donc certainement avec une bonne connaissance du portrait dessiné par Rumphius que Poivre rédige ses premières ob-

53 - L'espèce est dioïque : les fleurs mâles et femelles sont portées par des individus séparés.

54 - Baas et Veldkamp, *op. cit.* in n. 50, 16.

55 - Carl Linné, *Genera plantarum*, 2^e éd. (Leyde : Conrad Wishoff & Georg Wishoff, 1742), 524.

56 - Carl Linné, *Species plantarum*, 1^{re} éd. (Stockholm : Lars Salvius, 1753).

57 - « [...] quelques branches fraîches de muscadier, qui me furent communiquées en 1781 par M. Sonnerat » (Jean-Baptiste Lamarck, *Mémoire sur le genre du muscadier, Myristica, Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1788 (1791), 152.)

58 - Lamarck, *op. cit.* in n. 57, 156-157. Pourtant conscient des combinaisons nomenclaturales antérieures proposées par plusieurs auteurs, Lamarck publie en 1788 le nom superflu de *Myristica aromatica*. De nos jours, le nom correct pour le muscadier du commerce est celui proposé par Maarten Houttuyn (1720-1798) en 1774 (*Myristica fragrans* Houtt.).

servations agronomiques sur le muscadier⁵⁹. Il se lance ensuite dans deux expéditions successives, à Manille (1750-1753) puis à Timor (1754-1755), desquelles il rapporte respectivement : (1) cinq jeunes arbustes pour lesquels aucune expertise n'est finalement demandée, fin 1753 ; (2) un jeune plant et une noix germée, objets de la séance officielle du 1^{er} octobre 1755. Si la violente dispute qui s'ensuit a souvent été décrite sous le prisme de l'opinion partisane⁶⁰, aucune étude à ce jour ne semble s'être réellement concentrée sur le contenu du discours botanique sous-tendant la querelle, ainsi que sur l'identité des collections respectives de Poivre. Dans cette optique, nous nous focalisons ici sur les objets purement botaniques décrits au sein de six rapports manuscrits – nommés « R » et numérotés chronologiquement de R1 à R6 – et analysons leur importance scientifique au sein de la dispute. Ces documents s'articulent autour du rapport officiel de la séance du 1^{er} octobre 1755 (R1), bien documenté par la critique⁶¹, et incluent les versions modifiées et contestataires de Fusée-Aublet, écrites dans le feu de l'action (R2, R3 et R4-1) ou rétrospectivement (R5, R6), ainsi que les réponses argumentées de Poivre (R4-2). Dans l'inventaire qui suit, nous proposons un recensement quantitatif et qualitatif du matériel rapporté par Poivre en assignant à chaque échantillon la dénomination Rx-y, où x indique le numéro du rapport et y l'ordre d'apparition chronologique de l'objet dans le rapport⁶².

Le premier rapport fait état de huit objets dans la malle, au lieu des trois initialement décrits, à savoir : trois « plants » (R1-4, R1-5 et R1-6) et cinq « noix » (R1-1 à R1-3 ; R1-7 et R1-8). Dans ses rapports contestataires (R2 et R3), Fusée-Aublet revient sur le contenu du matériel et totalise au final six objets : deux plants (R3-2, R3-3) et quatre noix (R3-1 ; R3-4 à R3-6). Dans la joute épistolaire qui l'oppose à Poivre (R4), sept objets sont décrits : un plant (R4-1) et six noix (R4-2 à R4-6). Dans ce rapport, Fusée-Aublet assigne un numéro à chaque noix (N1 à N6). Enfin, dans les deux derniers rapports, il est question de six ou sept objets, dont un ou deux plants (R5-1 et R5-5) et cinq noix (R5-2 à R5-4 ;

59 - Pierre Poivre, « Observations sur le muscadier et principalement sur la culture de cet arbre », ms. du 12 février 1752 (ANOM, Col. C/2/285), fol. 158r-162v.

60 - Martinetti et Mansion, *op. cit.* in n. 6, 47.

61 - Martinetti et Mansion, *op. cit.* in n. 6, 59-70.

62 - Pour l'intitulé des différents rapports, ainsi que leur transcription, voir l'annexe *infra*.

R5-6 et R5-7). En outre, dans certains de ses mémoires, Fusée-Aublet signale la présence de « noix du commerce » rapportées par M. Aubry, un capitaine qui a accosté à l'île de France en octobre 1753, peu de temps avant le retour de Poivre (R6) : « Le Sr Aubry capitaine et armateur du vaisseau le St George venant de Batavia avec des plantes de muscadier pour la compagnie que Mr Bouvet fit alors distribuer un au grand port chez le nomme Brocus, un au Sr Mabilie aux plaines de Vuillesmes [Wilhems] et l'autre me fut remis avec des plants de [bétel] et des fruits de mangoustans. »

Au terme de six rapports, l'établissement d'une liste précise du contenu de la caisse reste problématique, certains objets étant parfois oubliés, d'autres plus ou moins « combinés » entre eux. Un consensus semble toutefois se dessiner autour d'un total de huit objets, incluant le plant à examiner (P1), le plant mort (P2) et les six noix (N1-N6), dont la « noix germée » (N2) soumise à l'expertise. Outre l'inventaire négligé, Fusée-Aublet insiste sur le mauvais état général du matériel, dénonçant implicitement le manque de professionnalisme de son adversaire. Dans son dernier rapport (R6), il décrit P1 comme un « chétif plant brûlé par l'eau de mer, ou par le soleil [...] », avant de conclure : « Dans le sol, il y avait des misères de racines, de radicules, de noix d'arec et d'hernandia, mais rien ne voulait germer ». Fusée-Aublet va plus loin dans sa critique, puisqu'il considère Poivre comme un tricheur : il a voulu duper le conseil en embellissant sa récolte par le biais des chimères botaniques, reconstituées de toutes pièces, ou d'objets du commerce... Les deux plants P1 et P2 sont ainsi attachés artificiellement aux noix N4 et N5, respectivement, la noix germante N2 est affublée d'un faux germe, tandis que les noix du commerce proviennent de confitures. Si Fusée-Aublet, l'apothicaire, est prompt à déceler les fraudes, le botaniste reste plus hésitant quant à la détermination de cet édifiant inventaire. Revenons plus en détail sur son expertise des différents objets.

Le plant vivant adhérent à sa noix (P1 et N4)

Fusée-Aublet admet dans un premier temps que la plantule (R1-6) est conforme, « par la grandeur et la grosseur », à la description qu'en donne Poivre mais suggère cependant un rapprochement avec l'« Araca de Pison », du fait du bruit particulier des feuilles

au maniement. Il précise plus tard que le plant (R2-1), « dont il ne fut pas dit le nom, désigné par un M, en abrégé », n'est pas un muscadier du fait de l'absence d'odeur caractéristique. Le botaniste se justifie en citant Rumphius, Burman et finalement Geoffroy (R2) : « Je m'explique pour prouver la fausseté du dit plan, que les feuilles soient alternes ou non, opposées ou non, elles doivent essentiellement le rapport qu'en donne Monsieur Geoffroy de l'Académie Royale des Sciences, dans la matière médicale, tome 3, page 312, ligne 27 : non seulement les feuilles récentes froissées entre les mains répandent une odeur pénétrante, mais encore elles sont acres et aromatiques étant sèches. » Si le botaniste est persuadé que la jeune pousse n'est pas un muscadier, il est cependant incapable de l'identifier précisément. Cela reste un « arbre étranger à cette Isle » (R3-2), un « faux, sans racine et sans fibre » (R4-1), ou un « rejet d'arbre ingénument mis en terre comme un plan de muscade réel » (R5-1). Fusée-Aublet déclare finalement que ces feuilles ont la consistance de celles du « rocou » (R6-1) mais conclut que le prétendu muscadier pourrait également être un « acajou » (R6-6).

Selon Poivre, la noix (N4) « par laquelle est sortie un petit plan qui y adhère encore » a la taille d'une petite noix de muscade. Fusée-Aublet affirme de son côté qu'elle n'appartient pas à P1. Pire, elle aurait été volontairement coupée en deux et « placée sur le coude de ladite plante » (R4-5) afin de simuler un jeune muscadier germant. Cette graine étrangère est décrite comme une « noix sauvage » (R2-5), un « fruit d'arec » (R3-1), ou une « fausse noix de muscade » (R4-5), sans doute originaire de Queda (R5-7, R6-6). Il est à noter que dans les rapports R3 et R4, datés du même jour, Fusée-Aublet se contredit, mentionnant d'abord un fruit d'arec, puis celui d'un muscadier. Pour pallier cette détermination hésitante, le botaniste revient sur le côté artificiel d'un objet qu'on lui demande d'expertiser, sans être autorisé à le manipuler (R2) : « [...] si l'on m'avoit permis de toucher à ce faux plan et si on avoit détaché un membre du conseil pour assister à sa transplantation, comme je le demandoit, vous auriez vue par vos yeux la supercherie. Que ce n'étoit n'y un plan, n'y un fruit de muscade, mais un rejet d'arbre étranger à cette Isle qui avoit une petite courbure sur laquelle un fruit d'arec étoit appliqué. »

Le plant mort « adhérent » à sa noix (P2 et N5)

Ce plan, curieusement soumis à l'expertise, est officiellement décrit comme une « petite plantule sèche dont la racine est pourrie » (R1-5). Fusée-Aublet le mentionne brièvement (R3-3), puis n'y porte plus attention par la suite. Poivre nous apprend que ce plant provient de la noix N5 qui aurait été arrachée de « la courbure du plant mort auquel elle adhérait encore faiblement » (R4-6). S'il ne décrit d'abord « qu'un lambeau de ses fausses muscades qui croissent à la cote de l'inde » (R3-6), Fusée-Aublet finit par admettre que cette « partie de muscade [...] avec aromatte » est semblable aux « noix sauvages » (R4-6) ou à une « muscade longue aromatique » (R6-5), remise l'année précédente par M. Bouvet. Dans tous les cas, Fusée-Aublet dénonce une nouvelle « ruse » : il évoque une noix creusée dans laquelle est inséré le plant mort, finalement déterminé comme un « jamrosade » (R5-5).

La noix germante (N2)

Dans le rapport officiel (R1), il est fait une description assez longue de la noix N2, un « fruit dont la coque résistait et sonnoit en battant dessus avec le manche d'un canif » :

La radicule d'un étant enfoncée dans la terre avait environ quatre lignes de circonférence. La coque qui contenait le fruit était courbée par l'extrémité la plus éloignée de la radicule. Il sortait une matière comme ligneuse de forme irrégulière. Au-dessous de cette matière il y paraît un œil de germe. [...] il paraissait à côté d'icelui une matière qu'on a prise pour Germe, aiant la forme d'un grain de bled maigre, qui n'y étoit point adhérent.

Le 25 octobre, Fusée-Aublet rapporte aux membres du Conseil ce fruit qu'il fut contraint de cultiver (R2-3) et « dont la culture n'a rien produit, attendu que ce qui paraissait à l'œil devoir être un germe, était la matrice d'un plan coupé ». Il affirme désormais qu'il s'agit d'un arec correspondant parfaitement à la longue description que « Rumphii herbarium ambonense en fait, tome premier, page 26, chapitre 5 ». Dans le rapport suivant (R3-4), il est question d'un « fruit d'arec » auquel « avoit le dit sieur appliqué artistiquement un grain de sable qu'il donnoit pour

le germe». Outre la dénonciation d'une nouvelle fraude (R5-6, R6-3), Fusée-Aublet attire également l'attention (R4-3) sur l'état de pourrissement avancé de la «radicule en pivot», ainsi que de la «matière ligneuse». Il constate également qu'une partie de l'amande reste fraîche, avec «l'impression de son enveloppe marquée dessus sa coque». Ce détail botanique permet, momentanément, de ramener le débat sur un plan scientifique et d'en réaffirmer encore une fois à Rumphius qui admet également une forte ressemblance entre les graines de l'aréquier et du muscadier⁶³. Malgré les avis divergents des deux adversaires – les traces seraient soit des empreintes du brou (arec), soit celles du macis (muscade) – Poivre conclut de manière curieuse : «Je n'ai fait aucune démarche pour persuader le Conseil que cette noix était une muscade.»

Les noix surnuméraires (N1, N3 et N6)

La fouille méticuleuse du coffre, entreprise par Fusée-Aublet lors de la séance du 1^{er} octobre, révèle la présence de trois noix excédentaires, non déclarées par Poivre. La première (N1) est décrite «de la même forme» que la noix germante (N2), «sans radicule, sans matière irrégulière [...] et un germe à une extrémité». Puisque l'objet n'est pas déclaré officiellement, Fusée-Aublet se permet de le couper en deux, afin de révéler – dans la partie non pourrie – un parenchyme marbré «comme ceux des palmiers d'arechs» (R1-2). Un morceau de la noix fraîche, goûté par certains membres du Conseil, est jugé sans saveur (R2-2), âpre (R3-5, R6-4) ou astringent (R6-4), mais toujours sans arôme. Ces caractères organoleptiques permettent à Fusée-Aublet de diagnostiquer un aréquier (R2) et de dénoncer, au passage, une fraude supplémentaire (R3 : «[...] une matière végétale vive et appliquée par un trou, fait encore avec art, comme naturel»). La noix N3 est d'abord évoquée comme «le fruit [d'un autre palmier d'arec] gros comme une balle de fusil» (R2-4). Fusée-Aublet précise ensuite qu'il s'agit d'une noix d'arec «Pinang Lanssa» (R4-4), dont il cite la description latine de Rumphius. Poivre rétorque

63 - [...] a hard grain forms in the center, without a Shell, but separate from the outer husk, the size and substance of a Nutmeg, and very like it, [...]. Its substance and color is very like a Nutmeg, but harder, and has more little brown veins inside [...] (Rumphius, *op. cit.* in n. 51, 225.)

que cette petite noix ronde, vraisemblablement avortée, présente « une coque ligneuse comme les autres et sur cette coque l'impression du macis » et ne peut donc pas être un arec. La noix N6, enfin, ne présente que peu d'intérêt, si ce n'est son odeur caractéristique qui lui permet d'être initialement déclarée comme une « noix muscade [...] point propre à la végétation » (R1-7). Fusée-Aublet précise plus tard qu'il s'agit d'une « fausse noix de muscade [...] remplie de petits anetons ou scarabes » (R4-7), avant de conclure, sans autre précision, que « Les noix dont il [Poivre] parlait dans la terre étaient des fruits de l'hernandia » (R6-2), admettant, de manière rétrospective, qu'il ne connaissait pas cette espèce en 1755.

Les noix du commerce

Ces graines, présentées en prélude de la séance d'expertise, sont d'abord reconnues comme étant « des noix mâles et femelles de muscade telles qu'elles sortent de dessus l'arbre » (R1). S'il admet leur identification, mais réfute les termes employés, Fusée-Aublet considère d'abord ces noix comme trop jeunes, donc impropres à la « végétation » (R2), puis « tirés de la confiture », « se brisant entre les doigts », et dépouillées de leur brou et de leur macis (R3, R5 et R6). Ces noix, loin de constituer des témoins comparatifs pour la validation de la graine germinante (N2), servent surtout à montrer « la différence essentielle entre les graines qu'on ne peut obtenir des Hollandais et les épices commerciales qu'on peut leur acheter » (R1). Par cette affirmation, Poivre admet donc que certaines graines qu'il a ramenées diffèrent de celles du muscadier vrai, mais qu'elles restent économiquement valables : « ces noix longues sont aussi bonnes que les rondes, si elles ne sont mesme meilleures » (R4-2).

Les plants de 1753

Le rappel de la première récolte de Poivre (novembre 1753), lors de la séance du conseil, est important à plus d'un titre. D'une part, cet épisode est clairement à l'origine de la grande animosité entre Fusée-Aublet et Poivre⁶⁴. D'autre part, ces cinq « muscadiers » constituent une sorte de référence à laquelle peuvent

64 - Martinetti et Mansion, *op. cit.* in n. 6, 50-58.

être comparées la récolte initiale d'Aubry (octobre 1753) et celle, plus récente, de Poivre (juin 1755). Si ce dernier soutient qu'il est le premier à avoir ramené des vrais muscadiers en île de France, ceux d'Aubry étant des faux, il écrit également : « Je regrette ces derniers plants [1753] tout autrement que celui qui a péri entre les mains de l'apothicaire [1755]. Quoique celui-ci fut-ce un muscadier, il y avait de grande [sic] différence [sic] entre les premiers et celui-là⁶⁵. » Fusée-Aublet profite de cette contradiction pour contre-attaquer : « Messieurs, quelle contradiction se trouve en cecy, les arbres de l'année dernière [1753] n'avoient aucun rapport avec le rejet que le dit sieur vous a présenté [1755]. Il faut au moins que les arbres ou le rejet soit faux » (R3). Pour le botaniste, qui considère l'échantillon d'Aubry comme authentique⁶⁶, Poivre a donc trompé par deux fois le Conseil avec des faux ou des chimères.

Que sait-on exactement des cinq plants ramenés par Poivre ? Lorsqu'ils sont présentés à Fusée-Aublet pour la première fois, dans la perspective d'une expertise, les plantes sont cachées dans un jardin privé : « Le Sr Poivre me fit passer devant plus de dix seaux garnis de plantes de mon hauteur ou je crus apercevoir des tacamaca et des jam rosade car les feuilles de ces arbres étaient opposées [...] me demanda si je connaissais ces arbres, je répondis non » (R6). Ces arbres inconnus de Fusée-Aublet désignent-ils les soi-disant muscadiers ou les nombreuses plantes environnantes ? À ce flou rhétorique s'ajoute le manque d'indices botaniques. La lecture des différents rapports nous apprend que les jeunes arbres sont de belle stature, qu'ils ont des feuilles alternes, et surtout qu'ils n'ont ni goût, ni arôme. Fusée-Aublet qui retourne les observer secrètement est finalement persuadé – après comparaison directe avec ses sources botaniques – qu'il s'agit de faux : « je les avois jugé comme des Calaba de Plumier⁶⁷ ». Le fait qu'il arrive à convaincre le gouverneur Bouvet de Lozier, que la demande d'expertise soit subitement annulée et que Poivre organise rapidement un nouveau voyage de récolte, sont autant d'éléments qui nous poussent à soutenir l'affirma-

65 - Poivre, *op. cit.* in n. 14, fol. 110.

66 - Jean Baptiste Christophe Fusée-Aublet, Quatrième mémoire : Observations sur la vanille, la manière de la cultiver, & les moyens de la préparer pour la rendre commercable, *Histoire des plantes de la Guiane françoise*, 4 vol., vol. 2 (Londres, Paris : Pierre-François Didot, 1775), 77-94, ici 91.

67 - Fusée-Aublet, *op. cit.* in n. 66, 89.

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers

tion pertinente de Fusée-Aublet : « Il faut donc conclure que ces arbres n'étaient pas des muscades, car le sieur Poivre aurait [...] présenté au Conseil ces plantes qui avaient 5 pieds de haut, bien feuillées et ramifiées et très vivantes » (R6).

Les barrières à l'identification du muscadier

Sous le prisme déformant de la botanique moderne⁶⁸, la séance déstructurée de 1755 se révèle comme un double échec, tant du point de vue de la récolte que du processus d'identification. Loin de l'expertise rigoureuse qu'en donneront les académiciens Michel Adanson (1727-1806) et Bernard de Jussieu (1699-1777) en 1773⁶⁹, ce premier contact des savants français avec un potentiel échantillon de muscadier trahit surtout un certain amateurisme, voire de la négligence ou de la précipitation. Il révèle surtout la difficulté qu'éprouvent les botanistes du temps à reconnaître la plante non formellement décrite qui se cache derrière les drogues – graines et macis – tant convoitées. Aux nombreuses barrières méthodologiques et/ou épistémologiques qui entravent l'identification du muscadier au mitan du XVIII^e siècle – utilitarisme, inflation du nombre d'espèces, nomenclature non établie, paucité et cherté des sources littéraires, obstacles épistémiques du langage et de l'image – s'ajoute la faiblesse à la fois quantitative et qualitative de l'échantillonnage de Poivre.

La récolte de Poivre

Avec la mainmise progressive des différents empires coloniaux sur les ressources naturelles, les botanistes du XVIII^e siècle ont été confrontés à un nombre sans précédent d'espèces inconnues, provenant de régions nouvellement annexées, qu'ils ont dû décrire, nommer et finalement classer dans un système. Afin

68 - Les concepts de « présentisme » ou de « récurrence » qui déclinent l'histoire des sciences à la lumière du présent ou à celle, récurrente, des résultats ultérieurs peuvent entraîner des jugements de valeur erronés (« l'idéologie du progrès » ou « l'histoire faite par les savants »), ainsi qu'un certain anachronisme dont l'usage doit rester contrôlé. Voir : Jean-François Braunstein, Foucault, Canguilhem et l'histoire des sciences humaines, *Archives de philosophie*, 79/1 (2016), 13-26; François Dosse, De l'usage raisonné de l'anachronisme, *Espace temps*, 87/1 (2005), 156-171.

69 - Ms. du 17 février 1773 (Arch. de l'Académie des sciences, Paris, 2B9), fol. 32v-36v.

d'éviter les redites et doublons, ils ont été tenus de comparer leurs découvertes avec les écrits de leurs pairs ou de leurs prédécesseurs, dans le but d'identifier les espèces connues ou d'en décrire de nouvelles. La collecte des plantes, vivantes et/ou séchées, reste donc l'étape fondamentale pour toute étude botanique, que son but soit purement taxonomique ou utilitaire. Le procédé d'échantillonnage botanique actuel ne diffère donc pas fondamentalement de celui décrit par Linné : la plante (« sans humidité »), avec ses organes de floraison et de fructification (« étendues, sans être repliées »), doit être rapidement séchée entre deux papiers secs (« à l'aide d'un fer chaud »), pressée modérément, puis collée sur une page in folio, en indiquant le genre, l'espèce et le système de classification⁷⁰.

Comparées aux standards de son temps, les récoltes botaniques de Poivre présentent de nombreuses lacunes. Si son objectif premier reste de rapporter du matériel vivant, dans un contexte logistique et géopolitique difficile, il est tenu de réaliser des témoins de sa récolte, qu'il s'agisse d'*exsiccata* des jeunes plantes, de spécimens morts, voire de branches, fruits ou graines conservés dans l'alcool. Compte tenu de la difficulté de germination des graines et de la perte importante de ses fragiles récoltes lors du voyage retour, ces éléments auraient pu constituer *a posteriori* une preuve irréfutable de l'importance et de l'authenticité de sa récolte. Au lieu de cela, Poivre se contente d'accumuler du matériel en vrac, non inventorié et non étiqueté, matériel qu'il présente de façon particulièrement négligée devant le conseil supérieur en 1755. Toutes ces défaillances expliquent au final l'état « misérable » du matériel que doit expertiser Fusée-Aublet.

La rareté des muscadiers en dehors des voies monopolisées par les Hollandais, ainsi que la forte mortalité des végétaux lors des voyages en mer⁷¹, peuvent partiellement expliquer la réticence de Poivre à sécher des spécimens vivants, qui plus est de jeunes plantules. Cependant, étant donné la grande quantité de matériel végétal que Poivre affirme avoir eu en main lors de ses

70 - Carl Linné, *Philosophie botanique*, trad. par F.-A. Quesné (Paris : Cailleau, 1788), 8-9. Cet ouvrage fondateur de Linné peut être perçu comme une sorte d'almanach compilateur des meilleures pratiques de l'art botanique au XVIII^e siècle.

71 - Christopher Parsons et Kathleen Murphy, Ecosystems under sail : Specimen transport in the eighteenth-century French and British Atlantics, *Early American studies*, 10/3 (2012), 503-539.

voyages respectifs – plus de 3 000 graines – il est étonnant qu’il n’ait pas gardé les échantillons ou les graines non viables, dans la perspective d’une future expertise. Ainsi, dans l’affaire de 1755, toutes les plantes qui n’ont pas survécu durant la période séparant le retour de Poivre et le rapport auraient dû être conservées et présentées lors de la séance. Il en est de même des cinq muscadiers de sa première expédition qui auraient pu être confrontés avec le plant de 1755 et, ainsi, éviter tout litige. C’est d’ailleurs cette comparaison d’échantillons que demande avec empressement Fusée-Aublet, après l’échec de la mise en culture forcée, fin octobre 1755. Il souhaite envoyer les deux témoins desséchés encore disponibles – le plant soumis à expertise (P1-N4; 1755) et celui conservé par M. Lejuge (1753) – aux experts métropolitains. Il ajoute à cela un dessin du premier qu’il s’est empressé de faire produire, après la séance : « Je profitais de la présence du Sr Gourlier qui dessina ce plan tel qu’il était et la noix » (R6, f. 105). Cette image et les nombreuses copies qu’il envoie aux membres de son réseau d’influence ont malheureusement été perdues. Elles auraient pu servir de témoin pour les correspondants métropolitains – via un processus d’épistémologie visuelle que nous évoquerons – et montrer le caractère hétérogène ou non de la « chimère » que Fusée-Aublet a dû cultiver contre son gré. Au final, cette volonté de produire des références – plantes séchées et dessins – et de confronter ses conclusions avec celles des experts de l’Académie des sciences est révélatrice de la rigueur scientifique de Fusée-Aublet.

La détermination botanique

Si l’étape de détermination botanique est aujourd’hui facilitée par la profusion d’une littérature spécialisée – flores globales et régionales, monographies, inventaires, bases de données numériques – et par l’existence d’un code de nomenclature bien régulé⁷², il en était tout autrement pour le botaniste du XVIII^e siècle. En ce sens, la séance de 1755 est un bon reflet des difficultés généralement rencontrées. Le diagnostic de Fusée-Aublet est avant tout basé sur la ressemblance superficielle

72 - Nicholas J. Turland *et al.*, *International code of nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen code) adopted by the Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen, China, July 2017* (Glashütten : Koeltz Botanical Books, 2018).

entre les échantillons observés et les dessins ou les descriptions disponibles dans les flores de l'époque. En tant que «Botaniste et premier Apothicaire-Compositeur de la Compagnie des Indes», il utilise également, de manière souvent abusive, des arguments d'autorité épistémique⁷³. Enfin, il adopte une méthode d'autocorrection au fil des rapports, revenant souvent sur ses déterminations antérieures. Ainsi, si les noix N1, N2 et N3 restent des arcs, N4 passe du statut d'arc à celui de fausse muscade, tandis que N5 et N6 sont d'abord des fragments de muscades avant de devenir d'éventuels «hernandia». De même, le rejet inconnu (P1) est d'abord assimilé à un araca, puis à un rocou, avant d'être reconnu comme un acajou. Quant au plant mort (P2), il est finalement considéré, sans autre forme de raisonnement, comme un jamrosade. Poivre, malgré la pauvreté et le mauvais état de sa récolte, l'absence d'inventaire ou de pièces justificatives, se défend en soulignant la faiblesse ou les incohérences du raisonnement scientifique de Fusée-Aublet.

Botanique utile et nomenclature inutile

Lors de la séance d'expertise, on constate que Fusée-Aublet examine et tente de déterminer les plantes selon les critères d'un apothicaire plutôt que ceux d'un botaniste. Il dénonce des «ruses», accuse Poivre de «tromperie» et dénombre au moins trois combinaisons frauduleuses : P1-N4 et P2-N5 sont des plantes composites, formées de parties hétérogènes, tandis que le germe de N2 est un grain de sable. Les caractères utilisés sont principalement sensoriels et restent dans le domaine de la matière médicale et de la reconnaissance des drogues : la «texture» des feuilles ne correspond pas à celle du muscadier; leur froissement ne procure pas l'odeur caractéristique de ce dernier; le goût de la noix est âpre ou astringent, comme celui de l'arc, etc. Sous sa cape d'apothicaire, Fusée-Aublet est donc capable de dénoncer «une ruse des plus étudiées» que seul un bon botaniste formé à l'école des Jussieu est capable de détecter (R5), démontrant au passage les liens encore étroits entre la botanique et les sciences médicales. À cet égard la définition que donne Louis Jean-Marie d'Aubenton (1716-1799) – Daubenton – dans son article «Botanique» est sans ambiguïté :

73 - Martinetti et Mansion, *op. cit.* in n. 6, 61-62.

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers

[...] la Botanique est la science qui traite de tous les végétaux & de tout ce qui a un rapport immédiat avec les végétaux. [...] Le détail de la Botanique est divisé en plusieurs parties : il y en a trois principales; savoir la nomenclature des plantes, leur culture, & leurs propriétés. La dernière est la seule qui soit importante par l'utilité que nous en tirons⁷⁴.

Réfutant toute idée d'une science émancipée, Daubenton voit donc dans la découverte des « propriétés utiles des plantes », le principal objet de la botanique. Cette vision utilitariste pousse également la science végétale vers l'agriculture ou l'horticulture et fait du botaniste, non plus un naturaliste, mais bien un agronome ou un apothicaire. Reprenant les idées de Georges-Louis Leclerc de Buffon (1707-1788) à l'encontre de Linné⁷⁵, Daubenton fustige également la nomenclature qui constitue, selon lui, un « obstacle » à l'avancée de la botanique, une « fausse route » qui la détourne de son but essentiel : non seulement elle n'est pas nécessaire à la découverte des vertus thérapeutiques, mais elle reste confuse et fait perdre un temps précieux aux botanistes qui tentent vainement de la stabiliser :

On est parvenu, par le moyen de la nomenclature, à distinguer environ vingt mille espèces de plantes, selon l'estime des Botanistes, en comptant toutes celles qui ont été observées tant dans le nouveau monde, que dans l'ancien. S'il y avoit eu un plus grand nombre d'observateurs, & s'ils avoient parcouru toute la terre, ils auroient doublé ou triplé le nombre des espèces de plantes; [...] chacun compte à sa mode⁷⁶.

Inflation nomenclaturale ou spécifique ?

Cette accumulation avérée des dénominations donne surtout une idée faussée de la diversité végétale estimée au mitan du siècle : ce flottement nomenclatural reflète-t-il simplement l'opinion des observateurs ou révèle-t-il une augmentation alarmante du nombre d'espèces ? Une telle inflation spécifique

74 - Louis Jean-Marie d'Aubenton, art. « Botanique », *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* (Paris : Briasson, David l'aîné, Le Breton et Durand, 1752).

75 - Christian Bange, La réception de la nomenclature binominale et la diffusion du linnéisme en France au XVIII^e siècle, *Bulletin de la Société linnéenne de Lyon*, 86/3 (2017), 75-95.

76 - D'Aubenton, *op. cit.* in n. 74.

se heurte alors directement à la pensée créationniste, toujours dominante, et reflétée par le fameux axiome linnéen : « il y a autant d'espèces que l'être infini a créé de formes diverses au commencement ⁷⁷ ». Linné, qui avait décrit et publié 5 940 espèces végétales de son vivant, estimait à 10 000 leur nombre total maximum ⁷⁸. Partant, il revenait aux autres botanistes de découvrir les quelques 4 000 espèces restantes. Un recensement général de toutes les plantes créées et dispersées à la surface du globe depuis l'Origine était, selon lui, le seul moyen de comprendre leur organisation et de pouvoir à terme les classer avec méthode au sein de la grande chaîne des êtres ⁷⁹.

Dans ce contexte, on peut estimer qu'en 1755 les connaissances botaniques de Fusée-Aublet sont particulièrement importantes. En effet, lors des démonstrations qu'il a suivies au jardin du Roy de Paris, entre 1747 et 1752, il a pu observer et mémoriser près de 3 000 espèces végétales ⁸⁰, ce qui représente environ la moitié des espèces végétales connues à son époque. Pourtant, il s'avérera rapidement que ce savoir n'est pas suffisant pour comprendre et déterminer les plantes nouvelles qu'il découvre en île de France, incluant les muscadiers. Ce même constat est valable pour les autres botanistes engagés dans le recensement ultime prôné par Linné. La quête de la diversité végétale manquante, au lieu de converger vers les limites numériques fixes estimées par Linné, a pour effet de toujours repousser plus loin ces barrières. Comme le souligne Gilles Geneix : « Quant à la publication d'un *Species plantarum*, elle constitue à la fin du [xviii^e] siècle un travail impossible pour un homme seul ; Linné et ses successeurs ont également échoué dans une tentative exhaustive, tant le nombre de nouvelles plantes en circulation rend immédiatement caduque toute nouvelle édition ⁸¹ ».

77 - Linné, *op. cit.* in n. 55, II.

78 - William T. Stearn, The Background of Linnaeus's contributions to the nomenclature and methods of systematic biology, *Systematic zoology*, 8/1 (1959), 4-22. Steven Bachman estime aujourd'hui à 400 000 le nombre d'espèces de trachéophytes (plantes vasculaires), dont 391 000 spermatophytes (plantes à graines) et 369 000 angiospermes (plantes à fleurs). Steven Bachman, *State of the world's plants report* (Kew : Royal Botanic Gardens, 2016).

79 - Corinne Fortin *et al.*, *Guide critique de l'évolution*, 2^e éd. (Paris : Belin, 2021), 133-135.

80 - Mansion, *op. cit.* in n. 15.

81 - Gilles Geneix, *Antoine-Laurent de Jussieu (1748-1836) : Fabrique d'une science botanique* (Paris : Muséum national d'histoire naturelle, 2022), 550.

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers

Contrairement à ce que laisse entendre Daubenton, la découverte toujours plus importante de nouvelles espèces démontre la nécessité de recourir à une « nomenclature des plantes » permettant d'identifier, de nommer, de classer et ainsi de différencier entre elles les anciennes et les nouvelles espèces découvertes. Dans le cas des muscadiers, on observe ainsi un accroissement taxonomique exponentiel du XVIII^e au XXI^e siècle : quelques années après son rapport d'expertise, Fusée-Aublet décrira lui-même un nouveau genre de Myristicaceae (*Virola* Aubl.⁸²), tandis que Lamarck portera à huit le nombre d'espèces de *Myristica*⁸³, nombre qui avoisine aujourd'hui les 170⁸⁴. Dans ces conditions, il est permis de penser que la découverte du muscadier vrai hors des voies commerciales était statistiquement impossible en 1755, la chance de récolter une des espèces inconnues de *Myristica*, voire de Myristicaceae⁸⁵, étant beaucoup plus grande. C'est finalement l'avis de Fusée-Aublet lorsqu'il travaille sur sa flore de la Guyane française :

Les muscadiers et muscades que se sont procurés les Argonautes de la muscade, sont des muscadiers sauvages dont sont remplis les Îles de l'Archipel Indien, & [...] la muscade commune aux Philippines, Manilles, Molucques, à Keyda, sur la cote de Malabar [...]. Les Hollandais n'ont pas détruit les espèces qui ne sont d'aucune utilité dans le commerce⁸⁶ [...]

Inflation spécifique et vétusté des flores

Outre la méconnaissance d'une grande partie de la diversité végétale globale, l'offre concernant la littérature botanique reste généralement faible. Dans la France des Lumières, les ouvrages floristiques demeurent rares, la plupart sont obsolètes et tous sont onéreux. Ainsi, Jean-Jacques Rousseau (1712-1778) ne manque-t-il pas de le souligner⁸⁷ : « [...] c'étoit en prévoyant qu'on trouveroit peu de livres de botanique à Paris [...]. Il est

82 - Jean Baptiste Christophe Fusée-Aublet, *Histoire des plantes de la Guiane française*, 4 vol., vol. 2 (Londres, Paris : Pierre-François Didot, 1775), 904-908.

83 - Lamarck, *op. cit.* in n. 57.

84 - Willem Jan Jacobus Oswald De Wilde, Myristicaceae, in P. F. Stevens (dir.), *Flora Malesiana*, vol. 14 (Leyde : Nationaal Herbarium Nederland, 2000), 632.

85 - De Wilde, *op. cit.* in n. 84, environ 500 espèces.

86 - Fusée-Aublet, *op. cit.* in n. 66, 93.

87 - Jean-Jacques Rousseau, *Collection complète des œuvres*, édition en ligne, 17 vol., vol. 17 (Genève, 1782), 122, édition en ligne www.rousseauonline.ch.

étonnant à quel point de crasse ignorance & de barbarie, on reste en France, sur cette belle & ravissante étude, que l'illustre Linnæus a mise à la mode dans tout le reste de l'Europe. » La remarque du philosophe et botaniste amateur est particulièrement justifiée pour les flores tropicales qui, outre les sources néerlandaises susmentionnées, incluent des publications pour le moins dépassées comme les œuvres⁸⁸ du père Plumier (1646-1704) ou de Hans Sloane (1660-1753).

Outre la paucité des flores, Rousseau ne manque pas de préciser le coût très élevé d'une littérature pour laquelle il a trop dépensé : « Je me suis ruiné en livres de botanique, et j'avais bien résolu de n'en plus acheter⁸⁹ [...] » Ce prix ne semble toutefois pas être un problème pour la Compagnie qui procure à Fusée-Aublet, lors de son séjour à l'île Maurice, divers ouvrages dont « l'Hortus Malabaricus, Rumphius et d'autres livres de botanique qui traitent des plantes de cette partie du monde » (R6). Ainsi, lorsqu'on lui annonce, en 1753, qu'il devra expertiser les « cinq muscadiers » rapportés par Poivre, Fusée-Aublet consulte « Rumphius, l'Hortus malabarius, Burman, Jauffroy ». Si elles constituent alors les meilleures références dans le domaine balbutiant de la botanique tropicale, ces flores demeurent approximatives du point de vue géographique et leur maniement est rendu difficile par l'absence de clés dichotomiques pour l'identification des spécimens. Cette façon de progresser dans la détermination d'un objet inconnu, universellement employée de nos jours, semble avoir été proposée pour la première fois dans la *Flore française* de Lamarck⁹⁰. Il faut donc imaginer – à la manière de Fusée-Aublet avant la séance d'expertise – les savants du XVIII^e siècle feuilletant rapidement les pages d'une flore à la recherche du texte ou de l'illustration correspondant le mieux à la plante inconnue, l'homologie étant souvent très lointaine, subjective, voire nulle, la plupart des espèces n'étant pas encore décrites dans ces flores déjà dépassées au moment de leur publication.

88 - Hans Sloane, *A voyage to the islands Madera, Barbados, Nieves, S. Christophers and Jamaica*, 2 vol. (Londres : Printed by B. M. for the author, 1707); Charles Plumier, *Description des plantes de l'Amerique* (Paris : Imprimerie royale, 1693).

89 - Rousseau, *op. cit.* in n. 87, 151.

90 - Sara T. Scharf, Identification keys, the "natural method," and the development of plant identification manuals, *Journal of the history of biology*, 42/1 (2009), 73-117; Geneix, *op. cit.* in n. 81, 123-124.

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers

Un langage botanique non codifié

La paucité des flores tropicales, la quasi absence de lexiques ou de dictionnaires, sont autant d'éléments qui pourraient expliquer la légèreté du langage botanique lors de la séance d'expertise de 1755, ainsi que les différents rapports qui en dérivent. Ces derniers abondent de termes peu techniques – matière ligneuse, œil de germe, coque, coquille, noix, brou, filasse – pour décrire ou désigner les jeunes pousses, les graines, ou les fruits. Le mot « noix », par exemple, est souvent utilisé pour désigner indifféremment le fruit ou la graine du muscadier. Ainsi, pour Fusée-Aublet, « la noix muscade avec sa coque est d'une grosseur bien différente d'une noix dépouillée, sèche » (R2), tandis que pour Poivre la petite noix ronde N3 a « une coque ligneuse comme les autres et, sur cette coque, l'impression du macis » (R4-2). Cette confusion entre les graines et certains fruits reste une pratique courante chez les botanistes jusqu'à la fin du XVIII^e siècle et la première classification de ces organes végétaux par Joseph Gaertner⁹¹ (1732-1791). Linné lui-même définit la noix comme une « semence couverte d'une epiderme osseuse⁹² » et réfère donc à un fruit, la nucule des botanistes modernes⁹³. Pourtant, il définit également la drupe, ou « fruit à noyau », comme un « Péricarpe fourré, sans Valve, contenant une Noix », associant donc indirectement la noix au noyau, c'est-à-dire à l'endocarpe ou partie interne du fruit⁹⁴.

Dans ce qui suit, nous employons une approche « présentiste », afin de rapprocher les termes utilisés dans les rapports avec leurs homologues actuels correspondants (signalés entre crochets). Nous avons établi que le matériel de Poivre se subdivise qualitativement en deux lots, à savoir des graines (N1-N6) et des plantules, dont l'une est morte (P2) et l'autre (P1) paraît « rat-tachée » à sa graine (N4). Il n'y a pas de fruit, comme l'affirme justement Fusée-Aublet dès son premier rapport contestataire (R3) :

91 - Joseph Gaertner, *De fructibus et seminibus plantarum*, vol. 1 (Stuttgart : Sumtibus Auctoris, Typis Academiae Carolinae, 1788).

92 - Linné, *op. cit.* in n. 70, 69.

93 - Walter S. Judd et al., *Plant systematics : A phylogenetic approach* (Sunderland, Mass. : Sinauer, 2015).

94 - Linné, *op. cit.* in n. 70, 157.

Vous dittes que j'ay reconnu des fruits de muscades pour être des noix males et femelles telles qu'elles sortent de dessus l'arbre. [...] Comme ai-je put dire pareille chose tandis que ces noix étoient sans brout. [...] Ce n'est pas là Messieurs reconnaître ces noix pour être celles qui sortent de dessus le muscadier, comme il a été écrit par le greffier. Ma réflexion à ce sujet est qu'un fruit de muscade à ce jeune âge ne peut point perdre son brout n'y son macis ou membrane qui tapisse la coque.

Fusée-Aublet montre donc une bonne connaissance de la structure du fruit telle que la décrit Rumphius. Il reconnaît ainsi⁹⁵ : le « putamine » [le péricarpe], nommé au cours des rapports « brou, écorce, enveloppe externe, ou coque » ; le « cortex nigrum » [la testa], la « coque (ligneuse) ou enveloppe noire », recouverte par le macis ; enfin, le « nucleus seu vero nux » [la graine et son tegmen, sans testa], la « vrai noix ou l'amande ». Si la structure du fruit des muscadiers est bien connue au XVIII^e siècle, sa catégorisation n'est que récente. Ainsi, dans sa diagnose du genre *Myristica*, Linné évoque d'abord une « drupe coriace et subarrondie⁹⁶ ». Plus tard, Gaertner décrit une « baie supère, elliptique et sphérique⁹⁷ », tandis que Lamarck publie une « drupe arrondie ou ovale, monosperme » ou une « baie drupacée⁹⁸ ». Les deux auteurs sont suivis par Doyle⁹⁹, *a berry-like fruit*, tandis que beaucoup de taxonomistes restent indécis et préfèrent utiliser le terme général de « fruit¹⁰⁰ ». Enfin, un consensus semble actuellement s'établir autour du terme « follicule », plus particulièrement un « follicule apocarpique de type *Myristica*¹⁰¹ ».

Concernant la description de l'aréquier, Poivre se base égale-

95 - Chez les plantes à fleur, le péricarpe est l'ensemble des trois couches d'un fruit. Il entoure la graine formée d'un tégument externe (testa) et interne (tegmen), d'un tissu nourricier (albumen) et d'un embryon (avec un ou deux cotylédons ou feuilles primordiales).

96 - Linné, *op. cit.* in n. 55, 524.

97 - Gaertner, *op. cit.* in n. 91, 194.

98 - Lamarck, *op. cit.* in n. 57, 153, 157.

99 - James A. Doyle *et al.*, Phylogeny, molecular and fossil dating, and biogeographic history of Annonaceae and Myristicaceae (Magnoliales), *International journal of plant sciences*, 165/4 (2004), 55-67.

100 - Warburg, *op. cit.* in n. 3 ; James Sinclair, *Florae Malesianae precursores* – XLII – The genus *Myristica* in Malesia and outside Malesia, *The gardens' bulletin : Singapore*, 23 (1968), 1-537.

101 - Alexey V. F. C. Bobrov et Mikhail S. Romanov, Morphogenesis of fruits and types of fruit of angiosperms, *Botany letters*, 166/3 (2019), 366-399.

ment sur Rumphius et emploie les termes « brou » et « enveloppe » pour le fruit et réserve celui de « coque » pour la graine : « Les parties [...] sont d'abord le brou ou enveloppe extérieure qui est un tissu de fibres de l'épaisseur d'un demi-doigt et, sous cette enveloppe, se trouve la noix sans aucune coque, de même grosseur et substance qu'une noix muscade mais plus dure et d'une forme différente » (R4-2). Ainsi, en se référant aux descriptions de Rumphius, les deux protagonistes semblent convenir que les graines des deux espèces diffèrent principalement par la présence d'une « coque noire » [tégument externe, ou testa] chez le muscadier, ou par son absence chez l'aréquier [les téguments externe et interne, testa et tegmen, sont fusionnés]. Dans le cas des « noix » décrites comme « sonnantes » ou « avec une coque » (N2 et N3), il y a une séparation entre la testa et le tegmen, consécutive à la rétraction de l'albumen de la graine par séchage. Il ne peut donc s'agir théoriquement ni de « noix d'arec », ni de graines viables. Dans les autres cas, il n'est pas exclu que la testa ait été détruite, comme c'est le cas actuellement pour les noix de muscade vendues dans le commerce. Enfin, Fusée-Aublet et Poivre s'accordent également sur la présence d'un « réseau marbré » [albumen ruminé ou veiné] visible chez *Myristica*¹⁰², mais également chez *Areca*¹⁰³ ou *Hernandia*¹⁰⁴. Ce caractère n'est donc pas diagnostique pour discriminer les graines décrites.

En ce qui concerne la germination des graines et la description des jeunes plantules, Poivre se montre généralement plus convaincant que Fusée-Aublet. Dans un manuscrit rédigé lors de son premier voyage à Manille, il note : « Le germe en sortant de la noix [muscade] se courbe du côté de la terre, s'y enfonce et forme la racine. Environ quinze jours après, il se forme une petite crevasse à ce premier germe dans l'endroit de sa courbure, et contre la noix ; de cette crevasse sort avec lenteur une tige d'un vert roussâtre¹⁰⁵ [...] » Cette connaissance empirique lui permet

102 - Li Bingtao et Thomas K. Wilson, Myristicaceae, in Z. Y. Wu, P. H. Raven, et D. Y. Hong (dir.), *Flora of China*, 25 vol., vol. 7 (Beijing & St. Louis : Science Press & Missouri Botanical Garden Press, 2008), 96-101.

103 - Pei Shengji et al., Arecaceae, in Z. Y. Wu, P. H. Raven, et D. Y. Hong (dir.), *Flora of China*, 25 vol., vol. 23 (Beijing & St. Louis : Science Press & Missouri Botanical Garden Press, 2010), 132-157.

104 - Xi-wen Li Jie Li et Brigitta Duyfjes, Hernandiaceae, in Z. Y. Wu, P. H. Raven, et D. Y. Hong (dir.), *Flora of China*, 25 vol., vol. 7 (Beijing & St. Louis : Science Press & Missouri Botanical Garden Press, 2008), 96-101.

105 - Poivre, *op. cit.* in n. 59, 158.

notamment de contredire l'accusation de fraude concernant la noix N1 (R4-2) :

Quand cette noix n'aurait pas eu une coque qui la distingua si fort de toute arec qui n'en a point, l'inspection seule du pivot devoit prouver à un naturaliste que cette noix n'étoit pas un arec ; car suivant Rumphius [...] la racine de l'arequier n'est qu'un amas confus d'une multitude de fibres noirâtres en dehors et blanc en dedans. [...] une noix qui ne porte qu'un seul pivot de couleur rousse n'est donc pas une noix d'arec.

Si Rumphius décrit bien la structure racinaire de l'aréquier, typique des plantes monocotylédones, ni lui, ni Lamarck n'abordent la germination des muscadiers (fig. 4). Il se pourrait que la description inédite de Poivre soit la première sur le sujet. Le pivot unique qu'il décrit, ainsi que la « matière comme ligneuse » qui sort de la graine N2 (R1), caractérisent une plante dicotylédone, excluant donc l'hypothèse d'une noix d'arec.

Enfin, les divergences constatées au cours de la controverse ne reposent pas toujours sur des caractères botaniques spécialisés ou cryptiques, mais sur des observations *a priori* triviales comme l'insertion des feuilles. Dans les flores modernes, les feuilles des muscadiers sont décrites comme étant « simples, entières et alternes¹⁰⁶ », trois critères faciles à reconnaître. Cependant la relecture de la diagnose de Rumphius indique que cette disposition alternée n'est pas toujours explicite : *The leaves grow on the twigs mostly in two rows, but not directly across from one another*¹⁰⁷. Ce que Poivre reprend dans son premier rapport sur les muscadiers : « Ces feuilles sont rangées des deux côtés de la branche, sans être opposées¹⁰⁸. » Dans un document ultérieur, il décrit néanmoins les feuilles comme étant « presque opposées les unes aux autres le long des branches, sans être néanmoins rangées par paires, et sans être rangées alternativement comme dans la plupart des arbres à des distances égales¹⁰⁹ ». Partant, il se rapproche de la description de Geoffroy : « Les feuilles naissent le

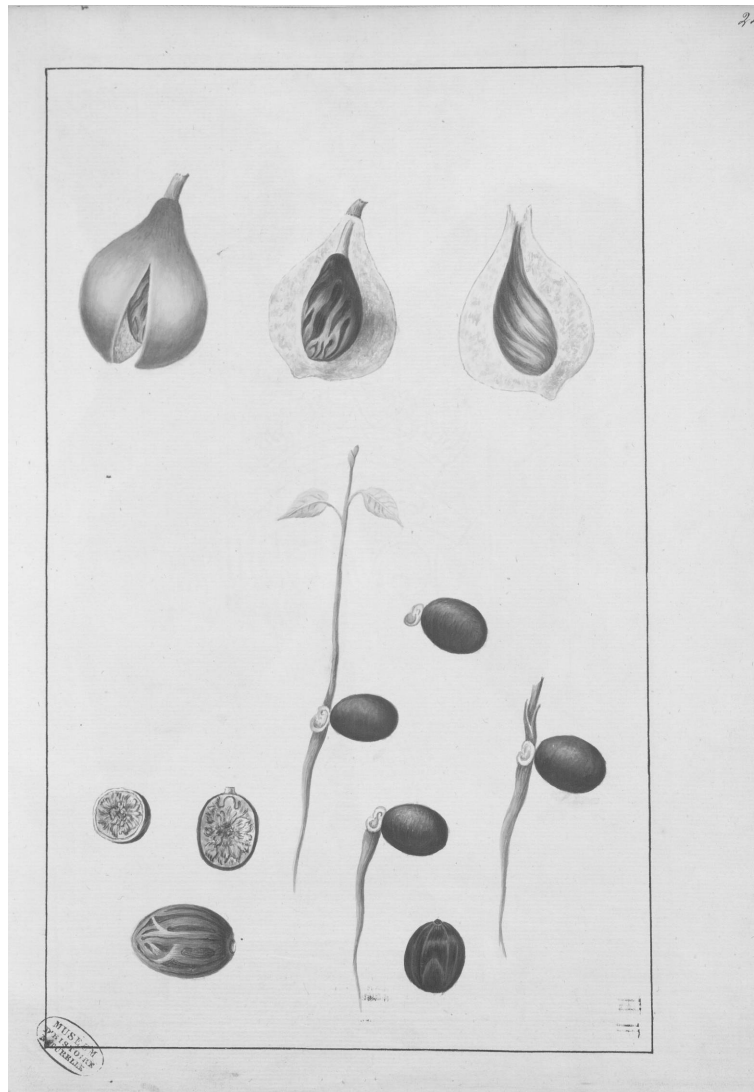
106 - Bingtao, Wilson, *op. cit.* in n. 102.

107 - Rumphius, *op. cit.* in n. 51, 23.

108 - Poivre, *op. cit.* in n. 59, 158.

109 - Pierre Poivre, « Description abrégée du muscadier et du géroflier pour servir à mettre les Srs Trémigon et Provost dans le cas de n'être pas trompés dans le choix des plants de ces deux espèces d'arbres », ms. de 1768 (A.N. Col C/4/22), fol. 127.

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers



Source : Pierre Sonnerat (1748-1814), « Recueils de dessins enluminés », xviii^e siècle. Muséum national d'histoire naturelle, ms. 269, planche 24.

Figure 4

Aquarelle représentant le fruit et la graine du muscadier, ainsi que les premières étapes de la germination de la plante

plus souvent deux par deux, quoiqu'elles ne soient pas exactement opposées¹¹⁰. » Au final, ces descriptions quelque peu alambiquées ont pu troubler Fusée-Aublet lors de la séance officielle et l'amener à déclarer que les cinq plants de 1753 ne pouvaient être des muscadiers car ils « n'avaient pas des feuilles opposées mais alternées » (R1). Cette erreur manifeste peut être interprétée comme un lapsus de la part d'un botaniste stressé et confus qui possédait le livre de Rumphius et connaissait donc parfaitement le dessin de la plante à expertiser. Il est également possible que Fusée-Aublet, dans la confusion, ait fait référence aux autres plantes à feuilles opposées, présentes avec les cinq muscadiers jalousement cachés.

L'emploi obligé de noms vernaculaires

À ce langage botanique peu structuré s'ajoute un système nomenclatural pré-linnéen, mêlant de manière inextricable une multitude de noms polynomiaux et vernaculaires. Si, à la fin du xviii^e siècle, la nomenclature binomiale linnéenne finit par être largement acceptée en France, ce n'était pas le cas au moment de l'expertise¹¹¹. En 1755, l'utilisation de polynômes est alors monnaie courante, au grand dam de Poivre, qui ne manque pas de le reprocher rapidement à Fusée-Aublet : « Je n'ai pas apporté, comme M. Aublet, dans la salle dudit conseil, une pile d'in folio et d'in quarto. Je n'ai utilisé ni le grec ni le latin. Je n'ai pas essayé d'éblouir ces messieurs avec de grands mots terminés en oïdés » (R4-2, fol. 99). Ceci explique certainement l'emploi systématique de noms vernaculaires dans tous les rapports suivants, avec toutes les conséquences indésirables que cela peut avoir dans le processus d'identification des plantes¹¹². On recense différentes appellations – acajou, alternoides du Cap, araca de Piso, calaba, hernandia, jamrosa ou jamrosade, mahogany, palomaria, ponis ou posny de l'Inde, rocou, ou tacamaca – dont la correspondance précise avec les binômes linnéens actuels est parfois problématique.

110 - Geoffroy, *op. cit.* in n. 41, 312.

111 - Christian Bange, La réception de Linné et le mouvement linnéen à Lyon de 1750 à 1830, *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon*, 1/1 (2009), 41-59.

112 - « Les noms des plantes », in Aline Raynal-Roques, *La Botanique redécouverte*, 1^{re} éd. (Paris : Belin, 1994), 37-62.

Parmi les plantes évoquées comme des alternatives au muscadier P1, Fusée-Aublet mentionne l'araca de Piso, le rocou, ou l'acajou. La première référence à l'araca est donnée à la fin de la séance officielle (R1), non pas comme un acte final d'identification de la plante inconnue, mais seulement pour rappeler que la consistance et l'épaisseur des feuilles, ainsi que le son particulier émis au froissement, ne correspondent pas à la description du muscadier. Piégé par son lapsus sur la disposition des feuilles du muscadier, et visiblement incapable d'identifier la plante rapportée par Poivre, Fusée-Aublet se doit de réagir rapidement en proposant une alternative scientifiquement recevable. Le choix de l'araca s'avère pourtant malheureux. En effet, Piso décrit deux espèces, Araca-Guacu et Araca-Miri¹¹³, taxa que Linné fusionnera pour décrire la goyave commune (*Psidium guajava* L., Myrtaceae¹¹⁴), un arbuste à feuilles opposées ! Cette erreur n'ayant pas été relevée, le botaniste reste plus discret dans les rapports suivants et propose, deux ans plus tard, une éventuelle association avec le rocou (*Bixa orellana* L., Bixaceae). Si les feuilles de cette espèce sont bien alternes, la disposition des nervures (cinq nervures basales palmées) ne correspondent clairement pas à la description du jeune plant de Poivre : « De cette côte [qui divise la feuille dans toute sa longueur] partent à droite et à gauche de petites nervures qui, tantôt opposées, tantôt alternes, divisent la feuille en parties inégales et vont se perdre dans la circonférence de ladite feuille qui est unie et sans aucune échancrure » (R1). Enfin, Fusée-Aublet finit par assimiler le plant P1 à un jeune acajou (*Swietenia mahagoni* (L.) Jacq., Meliaceae) (R6, fol. 107), dont l'espèce est cultivée dans le jardin du Réduit¹¹⁵. Lorsqu'il est arrivé à maturité, cet arbre possède des feuilles paripennées faciles à distinguer de celles du muscadier. Il n'en va cependant pas de même des jeunes pousses qui développent des feuilles simples pouvant être confondues avec celles du muscadier¹¹⁶. Contrairement aux comparaisons faites par Fusée-Aublet entre l'araca, le rocou et le muscadier, cette dernière interprétation est ainsi

113 - Willem Piso et Georg Marggraf, *Historia naturalis Brasiliae* (Leyde, Amsterdam : Hackium et Elzevirium, 1648).

114 - Linné, *op. cit.* in n. 56, 470.

115 - « Brouillons de relations des voyages et séjour de M. Aublet à l'Isle de France [et] à Cayenne, et brouillons de mémoires et projets sur ces pays » (Museum national d'histoire naturelle, ms. 452), fol. 150.

116 - Hans Franz Neubauer, Über das Blatt von *Swietenia macrophylla* King, *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 73/7 (1960), 277-288.

plausible. La première rencontre entre Fusée-Aublet et Poivre est également l'occasion pour chacun d'affirmer ses connaissances botaniques et de mentionner, dans les différents rapports, pas moins de quatre espèces alors présentes dans le jardin « secret », en compagnie des cinq muscadiers. Nous retrouvons chronologiquement les « ponis de l'Inde » (R1, R3), « tacamaca » (R1, R3), « palomaria » (R3), et « jamrosade » (R5, R6), qui présentent tous la particularité d'être des espèces à feuilles opposées. Lors de la séance de 1755, Poivre accuse publiquement Fusée-Aublet de ne pas avoir reconnu les « ponis de l'Inde », entreposés avec les cinq muscadiers, « quoique lesdits ponis soient le tacamaca de cette île, avec l'unique différence d'avoir la feuille un peu plus ronde et plus large ». Cela ne manque pas de faire réagir le botaniste qui connaît bien l'espèce (R3, fol. 3-4) :

Quelle fausseté le sieur Poivre n'avance-t-il pas lorsqu'il veut vous persuader que je n'aie pas connu les plans de Posny, il oublie qu'il les nomma alors Palomaria, restaurant pour l'Isle. S'il venoit à cause des huilles que donnait son fruit, il ne veut pas se rappeler que je les nommais aussitôt Tacamaca de ce pays, et que je luy ais appris qu'il l'étoit effectivement. Il y a un membre du conseil, curieux et savant, qui peut certifier cette vérité. Je montrez alors au sieur Poivre une barrique pleine de ces fruits qui étoit dans un magasin du gouvernement, il ne convint qu'alors que son Palomaria étoit un vray Tacamaca.

L'appellation tacamaca dérive de « tacamahaca », une gomme traditionnellement utilisée par les Mayas¹¹⁷. Par extension, le terme désigne également un suc tiré de diverses espèces de *Calophyllum* (Calophyllaceae), incluant *C. antillanum* Britton (palomaria), *C. inophyllum* L. (tacamaca), ou *C. tacamahaca* Willd. (tacamaca), cette dernière étant endémique des Mascareignes. Si l'on en croit Fusée-Aublet, Poivre confond deux espèces de *Calophyllum* (palomaria et tacamaca) et les nomme alors « ponis de l'Inde ». Cette appellation pourrait correspondre au Ponay de l'Inde (*Noronia emarginata* (Lam.) Poir., Oleaceae), une espèce malgache (fig. 5). Fusée-Aublet mentionne également le « calaba de Plumier » (*Calophyllum calaba* L.) comme identification possible pour les cinq muscadiers rapportés par Poivre.

117 - Johannes Cornelius Uphof, *Dictionary of economic plants*, 2^e éd. (Lehre, Allemagne : J. Cramer, 1968), p. 91. La gomme est extraite du *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (Burseraceae).

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers



Source : Bibliothèque du Muséum national d'histoire naturelle, Collection du Carporama d'Argenteuil.

Figure 5

Modèle en cire de rameaux fructifères de « Ponay de l'Inde » (Noronhia emarginata (Lam.) Poir., Oleaceae), réalisé par Louis Marc Antoine Robillard d'Argenteuil (1777-1828) à l'île de France, entre 1803 et 1826

Le « jamrosade » ou « jamrosat » (*Syzygium jambos* (L.) Alston, Myrtaceae), encore appelé pomme rose en raison de la saveur de son fruit, désigne un arbuste proche des girofliers (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L. M. Perry), une autre épice précieuse que Poivre dit avoir ramené de ses voyages. Fusée-Aublet connaît bien cet arbre cultivé dans le jardin expérimental du Réduit, dont il est responsable. Lors de la séance d'expertise, il déterminera le plant mort P2 comme un jamrosat (fig. 6).

Enfin, Fusée-Aublet affirme avoir observé cinq arbres « pleins de vie, à feuilles alternes comme celles des alternoides du Cap ». S'agit-il des « muscadiers » de Poivre ? Si le terme « alternoides » apparaît plusieurs fois dans le *Species plantarum*, sous forme binomiale ou polynomiale, sa concordance avec un binôme linnéen reste problématique. Pour la plupart des espèces candidates, la forme des feuilles – souvent petites, linéaires, ou dentées – ne correspond clairement pas à celle du muscadier.

Ainsi, l'échec de la nomenclature évoqué par Daubenton est surtout celui du langage polynomial qui, faute de réglementation et d'uniformité, constitue un obstacle épistémologique qui oblige Fusée-Aublet et Poivre à utiliser des noms vernaculaires. En définitive, les critiques de Daubenton restent contre-productives puisqu'elles plaident pour un système de dénomination simple et universel qui trouvera sa quintessence dans les noms triviaux linnéens. L'affaire des muscadiers ne fait que confirmer ce constat : Fusée-Aublet et Poivre ne peuvent repérer une espèce précise avec des appellations polynomiales ou vernaculaires. Cette barrière épistémologique sera l'une des sources principales de la controverse, puis de la longue dispute qui opposera le botaniste et l'agronome.

Épistémologie visuelle et centralisation du savoir

À la barrière du langage s'ajoute celle de l'image. En effet, si Poivre et Fusée-Aublet ne parviennent pas à trouver un consensus dans l'interprétation et la description des spécimens soumis à leur regard respectif, cet échec souligne la limite de la capacité du langage à faire « image » à la place d'un dessin précis des caractères de la plante. Dans *Visible empire : Botanical expeditions and visual culture in the Hispanic Enlightenment*, Daniela Bleich-

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers



Source : Bibliothèque du Muséum national d'histoire naturelle, Collection du Carporama d'Argenteuil.

Figure 6

*Modèle en cire de rameaux fructifères de « Jam-Rosa » (*Syzygium jambos* (L.) Alston, Myrtaceae), réalisé par Louis Marc Antoine Robillard d'Argenteuil (1777-1828) à l'île de France, entre 1803 et 1826*

mar insiste en effet sur le rôle fondamental de « l'épistémologie visuelle » dans le processus d'observation, de description et de reconnaissance des spécimens botaniques¹¹⁸. La représentation graphique de la plante doit permettre à des naturalistes séparés par de grandes distances géographiques de partager un même regard sur un même objet, de globaliser une approche empirique de la nature. L'image n'assure pas un consensus scientifique sur l'identité de la plante dessinée, mais elle constitue un outil de travail précieux, collectif, qui permet aux savants de la comparer à d'autres dessins similaires, à des descriptions ou à des spécimens séchés en herbier. Dans le contexte de la controverse entre Poivre et Fusée-Aublet, il est étonnant de constater à quel point l'image des mots remplace celle du dessin. Dans leur argumentaire respectif, c'est le texte de l'*Herbarium Amboinense* de Rumphius qui est cité et disputé et jamais les gravures des différentes espèces des muscadiers pourtant publiées dans le même ouvrage. Fusée-Aublet avait conscience de l'importance et de la nécessité d'ajouter une preuve visuelle à sa description des spécimens rapportés par Poivre, puisqu'il a fait exécuter « un fidèle dessin » du plant mis en sol dans le jardin du Réduit (R4-1). Cependant, le dessin ne fut pas réalisé par un dessinateur habitué à cette tâche, puisqu'il s'agissait de Gabriel Gourlier, un arpenteur de la Compagnie (R6, fol. 107). En outre, le dessin ne fut transmis ni aux directeurs de la Compagnie ni aux académiciens parisiens, et ne fut qu'entrevu par Poivre qui le contesta sur la base de l'incompétence, de la mauvaise foi et du complotisme prêtés à son adversaire¹¹⁹. De même, les échantillons contestés ne furent, selon tout évidence, jamais transmis aux autorités de la métropole. Dans ce contexte, il était donc impossible de substituer aux descriptions réfutées par chaque parti une image fidèle du spécimen qui aurait pu être partagée avec le cercle des experts parisiens. Vrai ou faux, le muscadier de Poivre n'existe donc pas pour les savants parisiens et ses expéditions de 1752-53 et de 1754-55 seront unanimement perçues comme des échecs¹²⁰. Il faudra à l'ex-missionnaire beaucoup de patience et

118 - "Visual epistemology" [is] a way of knowing based on visibility, encompassing both observation and representation. (Daniela Bleichmar, *Visible empire : Botanical expeditions and visual culture in the Hispanic Enlightenment* (The University of Chicago Press, 2012), 8.)

119 - Martinetti et Mansion, *op. cit.* in n. 6, 67.

120 - Martinetti et Mansion, *op. cit.* in n. 6, 70-79.

de persévérance pour se voir offrir, en 1769, une dernière chance de pouvoir implanter la précieuse épice dans les colonies françaises. Nommé intendant des Isles de France et de Bourbon, Poivre commande rapidement un nouveau voyage de collecte (mai 1769 – juin 1770) qui verra Jean-Mathieu-Simon Provost (1728-1776) rapporter quelques 450 jeunes plants de muscadier et 10 000 noix en germination¹²¹. L'identification du matériel est confirmée le 27 juin 1770 par Philibert Commerson (1727-1773). Le certificat du botaniste se présente comme une version très supérieure à celle fournie par Fusée-Aublet en 1755, décrivant notamment les caractères morphologiques des feuilles et des fruits, sans oublier de préciser les propriétés organoleptiques et de référer à la nomenclature de l'espèce en question¹²². Pour donner plus de poids à sa démonstration, il mentionne également la présence d'une autre espèce de muscadier, originaire des Philippines, « à feuilles plus grandes, plus larges et plus épaisses, et à fruit beaucoup plus allongé mais très faiblement épicé [...] », afin de montrer « que l'on avait très bien su discerner les muscadiers bâtards des légitimes ». Pourtant, ce succès en apparence total est à nouveau troublé par des opinions contradictoires. Le gouverneur François-Julien du Dresnay (1719-1786) se rétracte et remet en cause le processus de légitimation scientifique. Rétrospectivement, l'astronome Guillaume Le Gentil (1725-1792) déclarera que les noix exposées étaient « pour la plupart [les quatre cinquièmes] des noix bâtardes, c'est-à-dire grosses, oblongues, telles que j'en avais vu à Manille¹²³ ».

Pour Poivre, l'histoire se répète : la voix discordante du gouverneur a probablement prévenu l'envoi d'échantillons ou d'images à Paris et précipité la réalisation d'un nouveau voyage (juin 1771 – juin 1772). Provost et le jeune naturaliste Sonnerat finissent par ramener 28 plants de muscadiers et quelques 6 000 noix¹²⁴. Poivre peut finalement envoyer des spécimens d'herbier bien préparés,

121 - Abbé Tessier, Mémoire sur l'importation et le progrès des arbres à épicerie, dans les colonies françaises, *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1793, 585-596.

122 - Anonyme, Juin 1770 – Introduction du muscadier et du giroflier à l'Isle de France – Certificat de Commerson, *Revue historique et littéraire de l'île Maurice*, 27 (1891), 313-319.

123 - Guillaume Le Gentil de La Galaisière, *Voyage dans les mers de l'Inde fait par ordre du Roi, à l'occasion du passage de Vénus sur le disque du Soleil, le 6 juin 1761, & le 3 du même mois 1769*, vol. 2 (Paris : Imprimerie royale, 1781).

124 - Tessier, *op. cit.* in n. 121, 588.

des fruits et des graines conservés dans l'alcool, ainsi que tous les « rapports positifs de la colonie », à l'Académie des sciences. À Paris, l'identité de la noix de muscade est officiellement confirmée par les plus éminents naturalistes, à savoir Bernard de Jussieu et son élève Michel Adanson¹²⁵. Outre le succès et la mythification de l'entreprise de Poivre¹²⁶, cette séance voit l'achèvement du processus de détermination scientifique du muscadier : en 1773, les instances centrales et insulaires finissent par observer la même image des muscadiers, à des milliers de kilomètres de distance. Le muscadier peut officiellement exister dans les archives savantes françaises.

Conclusion

Diffusée en Europe par les marchand arabes ou vénitiens, la noix de muscade devient dès le xvi^e siècle le monopole plus ou moins exclusif de grandes puissances coloniales successives. La mainmise de la VOC sur le commerce de l'épice aux xvii^e et xviii^e siècles, incluant un contrôle militaire strict des sources de production et une régulation artificielle du marché, a fait du muscadier l'arbuste le plus précieux du monde. Pourtant, si l'on connaît bien les parties aromatiques de la plante, à savoir la graine et son arille, son portrait botanique ne se précise que très lentement, notamment grâce aux importants travaux de Clusius et de Rumphius. C'est la description et l'image qu'en donne ce dernier qui servent encore de référence – de type nomenclatural avant la lettre – dans la controverse des muscadiers qui oppose Fusée-Aublet et Poivre en 1755. Grâce à notre approche comparatiste, nous avons pu estimer le matériel végétal ramené par Poivre de manière quantitative et qualitative. Nous avons recensé, au sein des différents rapports analysés, un total de huit objets, à savoir deux plants (P1-P2) et six noix (N1-N6). Fusée-Aublet dénonce également trois « chimères » potentielles (P1-N4, P2-N5, N2), à savoir des compositions végétales composites avec « des radicules et germes des corps étrangers ». S'il est difficile – voire impossible, en l'absence de témoins conservés – de proposer une détermination botanique précise, nous pouvons évaluer les ar-

125 - *Ibid.*

126 - Martinetti et Mansion, *op. cit.* in n. 6, 44.

guments scientifiques de chacun des protagonistes. Les plants ramenés par Poivre (1754 et 1755) ne sont vraisemblablement pas des muscadiers : l'expertise des cinq plants (1754), pourtant « beaux et vigoureux », est annulée au dernier moment, suite aux doutes de Fusée-Aublet ; quant aux plants P1 et P2, ils ne sont pas conservés, malgré la demande du botaniste. Si Fusée-Aublet assimile d'abord toutes les graines à des noix d'arec, sur la base de caractères organoleptiques¹²⁷ ou de la présence d'un « réseau interne », il se rétracte partiellement au cours des différents rapports : seules N1-3 sont des noix d'arecs ; N4-6 sont des noix de muscade « sauvages » (*Myristica* sp.), voire des graines d'*Hernandia*. D'autres indices cependant, comme la présence d'une « coque » (testa ; N2 et N3), ou d'un « pivot simple » (N1), non réfutés par Fusée-Aublet, contredisent l'assignation des noix N1-3 à des aréquiers. Enfin, notre analyse révèle surtout les nombreux obstacles, méthodologiques et/ou épistémologiques, qui expliquent l'échec de l'expertise de Fusée-Aublet et de Poivre : outre la pauvreté du processus de récolte du matériel, la paucité et la cherté de la littérature savante, les deux protagonistes sont confrontés à des barrières épistémiques du langage et de l'image au sein d'une science pré-linnéenne encore empreinte d'utilitarisme et de fixisme.

Annexe : Indices botaniques présents dans les différents manuscrits consultés

R1 – « Rapport du greffier au Conseil Supérieur », ms. du 1^{er} octobre 1755 (Mauritius Arch., OA 99, bundle 69¹²⁸)

L'an Mil sept cent cinquante cinq

Le mercredi premier jour d'octobre au matin. Vu la requête présentée au Conseil le trente septembre dernier par le Sr Pierre Le Poivre, tendante à ce que description fut faite tant des fruits de muscade que de gérofle qu'il a apportés, que de l'arbre, et noix

127 - Il s'agit des caractères d'une drogue végétale qui affectent les différents sens de l'observateur, comme son aspect, sa saveur, son odeur, ou sa texture.

128 - Nous remercions Jean-Paul Morel pour sa transcription de R1, diffusée sur Internet pendant un temps à l'adresse www.pierre-poivre.fr ; nous la citons ici intégralement.

germée qui se trouvent dans une baille par lui représentée, le Conseil étant assemblé, ledit Sr Le Poivre est entré et a présenté au Conseil *plusieurs noix sèches couvertes de leurs coques, toutes sans brout, les unes longues, et les autres rondes, lesquelles ayant en partie été cassées, ont été reconnues par le Conseil et par le Sr Jean Baptiste Christophe Aublet pour être des noix mâles et femelles de muscade telles qu'elles sortent de dessus l'arbre (Noix du commerce)*; et ledit Sr Le Poivre ayant pareillement représenté une grande quantité d'antophiles ou fruits mûrs de gérofliers, icelles rompues ont été reconnues par le Sr Aublet être le vrai fruit de géroflier nommé antophile. Après quoi ledit Sr Le Poivre ayant découvert une baille qu'il a fait apporter en la chambre du Conseil, il nous a présenté la description qu'il a faite tant de l'arbre vivant ou plant naissant qui est dans la baille ainsi qu'il suit.

[Description du plant de Poivre]

Le plant [P1] remis entre les mains du Conseil de l'Isle de France par le Sr Le Poivre est un plant adhérent à sa noix [N4] qui a trois lignes environ de circonférence par le pied, quatre pouces huit à dix lignes de hauteur, de couleur rousse par le bas, et par le haut de couleur verte tachetée ci et là de petites marques rousses. Le long de ce petit tronc paraissent encore les restes et marques de quelques petits filets ou follicules qui avaient accompagné la tige naissante.

Le petit plant est couronné par trois feuilles placées alternativement qui semblent être les premières feuilles que le plant ait portées.

Ces feuilles paraissent avoir été un peu brûlées ou par le soleil ou par quelque air salin. Les parties qui n'ont point été attaquées sont lisses, d'un beau vert brillant en-dessus et d'un vert blanchâtre en-dessous. Elles ont une figure ovale terminée en pointe. Elles tiennent au petit tronc par un pédicule long de trois lignes environ. Elles sont divisées dans toute leur longueur par une côte fort saillante en-dessous, un peu relevée en-dessus, du moins aux endroits où la feuille n'a pas été brûlée. Cette côte tient au pédicule et se termine à la pointe opposée. De cette côte partent à droite et à gauche de petites nervures qui, tantôt op-

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers

posées, tantôt alternes, divisent la feuille en parties inégales et vont se perdre dans la circonférence de ladite feuille qui est unie et sans aucune échancrure. Ces feuilles sont d'une consistance assez ferme sans être fort épaisses. La plus longue a deux pouces deux ou trois lignes depuis sa base jusqu'à sa pointe, et un pouce quelques lignes dans sa plus grande largeur.

Du milieu des trois feuilles susdites sort un petit filet comme un germe ou une feuille encore enveloppée qui paraît sain et vivant ainsi que le tronc du plant. La noix [N4] de laquelle est sorti le petit plant qui y adhère encore est enfermée dans sa coque de couleur brune sur laquelle on voit les traces du macis qui l'a enveloppée. Cette noix est de la forme et grosseur d'une petite noix muscade. Dans la même baille est un autre plant mort [P2]. Idem une noix germée [N2]. Et ledit Conseil a requis ledit Sr Le Poivre de signer la présente description, ce qu'il a fait, et a signé ainsi. Signé Le Poivre

[Expertise de Fusée-Aublet]

Sur quoi, pour faire la vérification de ladite description ledit Sr Aublet ayant été appelé, la caisse ou baille avec les plants lui ayant été présentée, après avoir examiné iceux a dit que le fruit germé (R1-1 [N2]) qui était contenu dans ladite baille était au nombre de deux. La racine d'un étant enfoncée dans la terre avait environ quatre lignes de circonférence. La coque qui contenait le fruit était courbée par l'extrémité la plus éloignée de la racine. Il sortait une matière comme ligneuse de forme irrégulière. Au-dessous de cette matière il y paraît un œil de germe. Avant de découvrir ledit fruit, il paraissait à côté d'icelui une matière qu'on a prise pour germe, ayant la forme d'un grain de blé maigre qui n'y était point adhérent. En cherchant à découvrir le fruit dont la coque résistait et sonnait en battant dessus avec le manche d'un canif [N2], on en a rencontré un autre fruit de la même forme (R1-2 [N1]), qui avait le même caractère, sans racine, sans matière irrégulière. Il paraissait seulement, par une extrémité à laquelle le germe était, deux boutons entre lesquels le germe voulait prendre issue. Ces deux boutons étaient verts, ledit Sr Aublet les a coupés en présence du Conseil, et les a trouvés pleins de vie ainsi que le germe. Il a aussi coupé le fruit par son milieu : une partie était saine, l'autre tombait comme

en putréfaction, le parenchyme qui formait la noix ou le fruit était marbré comme sont ceux des palmiers arecs solide sans aromate [N1].

Dans la même baille s'est trouvée *un fruit de muscadier* semblable à ceux dont Monsieur Bouvet, Président dudit Conseil a confié il y a quelque temps à lui Sr Aublet, pourri, *ayant conservé encore l'odeur que ce fruit porte avec lui (R1-3 [N5])*. Il s'y est trouvé aussi le bois d'un petit plant, mêlé parmi la terre, auquel on apercevait un œil de vie prêt à éclore (R1-4). Il y avait encore un *petit plant sec dont la racine était pourrie (R1-5 [P2])*.

Il s'y est trouvé *un troisième conforme par la grandeur et la grosseur à la description qu'en donne le Sr Le Poivre (R1-6 [P1])*, les feuilles sont trois, plus oblongues qu'ovales, de la même longueur qu'elles ont été décrites, minces, fermes, d'une nervure très apparente menant du bruit en les maniant comme les feuilles de l'araca de M. Pison, les feuilles dudit plant sont volontiers alternes, sans aromate, d'un goût herbacé.

Quant aux fruits qui ont été présentés par le Conseil audit Sr Aublet, il les a reconnus savoir le gérofler véritable, vieux, nullement propre à la végétation. Les muscades étaient dépouillées, il n'y restait que la coque, laquelle étant cassée, il a paru que les fruits avaient été pris avant leur maturité. Il y avait *une seconde muscade semblable à celle qui a été trouvée pourrie dans la terre, point propre à la végétation (R1-7 [N6])*. Et a signé, ainsi Signé Fusée Aublet.

Et par ledit Sr Poivre a été dit et déclaré que l'année dernière, à son retour du voyage de Manille par Pondichéry, il avait apporté en cette île cinq plants de muscadiers qu'il avait distribué dans les trois principaux quartiers de l'île pour être cultivés par les personnes qu'il avait jugé, de concert avec Monsieur le Gouverneur, être les plus intelligentes et avoir des endroits propres à cette culture.

En présence du Conseil le Sr Le Poivre a demandé audit Sr Aublet s'il était vrai ce que ledit Sr Le Poivre avait appris par la voie publique, que le Sr Aublet avait débité que lesdits plants apportés l'année dernière étaient des plants faux. Le Sr Aublet a répondu n'avoir rien débité de semblable dans le public, mais il a avoué l'avoir écrit en France à M. de Montaran et à un botaniste de

ses amis. Sur quoi ledit Sr Le Poivre l'a sommé, en présence du Conseil, de déclarer sur quelle raison fondée il avait écrit semblable chose.

Le Sr Aublet a donné pour première raison que le Sr Le Poivre l'avait traité d'ignorant, et pour seconde raison que les plants qu'il avait vu chez ledit Sr Le Poivre n'avaient point les feuilles opposées mais bien alternes. A cela ledit Sr Le Poivre a répondu que le vrai muscadier doit avoir les feuilles alternes, que ledit Sr Aublet n'est jamais venu qu'une seule fois chez ledit Sr Le Poivre, qu'il n'a pas été trois minutes à la vue des plants, que dans les mêmes bailles où étaient les plants de muscadiers il y avait des petits plants de poni de l'Inde, que le Sr Le Poivre ayant demandé au Sr Aublet s'il connaissait lesdits plants, il avait répondu que non quoique lesdits ponis soient le tacamaca de cette île, avec l'unique différence d'avoir la feuille un peu plus ronde et plus large.

Enfin le Sr Le Poivre ajoute que si le Sr Aublet a écrit que les plants qu'il avait apportés étaient des plants faux, il n'a pu l'écrire que par passion, par vengeance et sans connaissance de cause. Le Sr Le Poivre a déclaré de plus que dans la baille qu'il a présenté aujourd'hui, outre le plant et la noix germée contenus dans la description ci-devant, il s'est trouvé en fouillant la terre quatre noix dont deux étant coupées n'avaient nulle odeur, et deux autres avaient l'odeur aromatique. De ce que dessus il requiert acte, et a signé, ainsi signé Le Poivre.

**R2 – « Copie de la requête présentée au conseil le 25 et 29 octobre 1755 », ms. du 29 octobre 1755
(Pierrefite_177MI198, fol. 4-6)**

[fol. 4v] Messieurs, Il vous plus m'honorer le premier jour d'octobre au matin de la présente année, de m'appeler à l'effet de me montrer *des fruits de muscadiers* que le sieur Poivre avoit apporté de son dernier voyage des Manilles, pour les vérifier; que je reconnus vraie, mais prise dans un âge si peu avancé qu'il n'étoient point propres à la végétation, ce que je vous démontrerais Messieurs en les brisant en votre présence vous faisant voir que *la noix en dedans étoit ridée, moysie, mal nourrie (Noix du commerce)*. De plus, il se trouvoit aussi des antophiles, des géro-

fliers vieux, noir, secs, également impropres à la végétation.

Il me fut de même démontré un plan (R2-1 [P1]) dont il ne me fut pas dit

[fol. 5r] *le nom désigné en la description du dit sieur Poivre, par un M en abrégé sans autre explication.* Vous m'ordonnâtes, Messieurs, de le cultiver et de vous les rapporter au cas que malgré mes soins il vint à périr; eut égard à la discussion qui se trouvait entre le dit Sieur Poivre et moy sur la substance du dit plan et fruit, j'eus l'honneur de vous demander une personne qui assistât à la culture d'iceux. Monsieur Le Procureur Général répondit que c'étoit une partie de ma mission, que l'on s'en rapportait à moy. J'insistez aussi que le Sieur Poivre eut à le cultiver luy même, il répondit que cela ne les regardait pas, il ne voulut point non plus consentir à être présent à la transplantation.

La confiance dont vous m'avez honoré, Messieurs, en ce cas m'a engagé d'apporter tous mes soins à la culture du dit plan et fruit, sans aucune réussite. C'est donc en vertu de ce que je vous représente, ainsi que vous m'y avez obligé, les dits plans et fruits qui se sont trouvés dans la dite baille.

Messieurs, j'ay l'honneur de vous réitérer les réflexions que je vous fis lorsque vous m'appellâtes au sujet des fruits qui se trouvaient germés dans la baille, *dont un fut coupé en votre présence (R2-2 [N1])*, semblable à *celuy qui restoit avec sa racine que vous me remîtes pour cultiver (R2-3 [N2])* et que je vous fis goûter, vous convint être *sans goût et sans aromates*. Je le comparez au fruit de la famille des palmiers ou palmier arec et non pas à une muscade, ainsi que le Sieur Poivre le prétendoit. Ce fut pour lors, il vous en souviendra, Messieurs, que le dit Sieur convint qu'il avait été trompé. C'est donc ce même fruit que je vous représente aujourd'hui, dont la culture n'a rien produit, attendu que ce qui paraissait à l'œil devoir être un germe, était la matrice d'un plan coupé, qui pour l'ordinaire ne repousse plus, outre l'application que j'en fait pour prouver que ce ne pouvoit être une noix muscade. Je vous rapporte la description que Rumphii herbarium ambonense en fait, tome premier, page 26, chapitre 5 : Pinanga areca palma indica major nucifera. Voici comme il s'explique, en suivant page 27, ligne 54 : fructus hi virides. En continuant l'on trouvera : si vero nux, sit dulcior ac perfecta externe xx cro-

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers

cea & sere rubra putamen excitatur atque figrarum, est edendo ineptum [...] etiam simili est. En poursuivant l'auteur ajoute : substantia

[fol. 5v] autem ejus de color [...] instar galla quercus. En continuant à lire les différentes descriptions de ces palmiers, vous trouverez, Messieurs, celle d'un *autre palmier arec qui est le fruit gros comme une balle de fusil* (R2-4 [N3]), que j'ay rencontré dans la ditte baille que je vous présente faisant nombre des quatre noix muscade, soit disant, dont le Sieur Poivre fait mention dans son procès-verbal. Et aussi je vous remets *la noix sauvage que l'on avait placée au pied du plan qui n'en faisait point partie, ainsi qu'il le prétendait* (R2-5 [N4]). De tout ceci, je conclus donc, Messieurs, que les fruits que vous m'avez remis ne sont nullement vray noix muscades; j'ajoute quant au plan que je vous remets, désigné au procès verbal, qu'il n'est non plus que ceux muscadiers et j'y joins le dessin pour servir en cas de besoin. Je m'explique pour prouver la fausseté du dit plan, que les feuilles soient alternes ou non, opposées ou non, elles doivent essentiellement le rapport qu'en donne Monsieur Geoffroy de l'Académie Royale des Sciences, dans la matière médicale, tome 3, page 312, ligne 27 : non seulement les feuilles récentes froissées entre les mains répandent une odeur pénétrante, mais encore elles sont acres et aromatiques étant sèches.

Rumphii herbarium ambonense confirme de même, liber II, pagina 14 : capitulus quinto Nuce miristica pala, à la ligne 30, à la suite de folia sunt instar Pyry in binos plurimum locantur [...] aromaticum proebent saporem. L'on peut encore consulter, ainsi que nombre d'autres, Thesaurus zeilanicus, page 173. *Il est donc concluant que le susdit plan n'est nullement semblable et n'a aucune des propriétés d'un vray muscadier* [...].

**R3 – « À Monsieur Magon Directeur de la compagnie
Président du conseil supérieur, Et à messieurs les
conseillers du conseil supérieur », ms. du 29 octobre 1755
(Pierrefite_177MI198, fol. 1-4)**

[fol. 2r] Messieurs, à la suite de la requête du Sieur Poivre vous dittes que j'ay reconnu des *fruits de muscades pour être des noix males et femelles telles qu'elles sortent de dessus l'arbre* [Noix du

commerce]. J'ay trop de respect pour le Conseil pour me récrier contre cette imputation. Vray ou faulse, je proteste contre et je la désavoue formellement fondé sur le trouble et la stupéfaction. On m'a jetté la manière dont on me traita dans votre assemblée, même par Monsieur le Président qui me fit un crime de ma mémoire. On m'y imposa silence et je n'y étois plus libre. Comme ai-je put dire pareille chose tandis que ces noix étoient sans brout. Qu'il vous plaize vous rappeler que j'eus l'honneur de vous demander s'il étoit permis de les briser. J'en brisez sous votre bon plaisir entre mes doigts, et je les trouvez sans forme de noix, seulement contenant une très petite matière moysie, ridée et sèche que j'eus l'honneur de vous montrer et celui de vous prouver qu'elles étoient impropres à la végétation et bonne à rien. Ce n'est pas là Messieurs reconnaître ces noix pour être celles qui sortent de dessus le muscadier, comme il a été écrit par le greffier. Ma réflexion à ce sujet est qu'un fruit de muscade à ce jeune âge ne peut point perdre son brout n'y son macis ou membrane qui tapisse la coque. Je pense que ce sont des fruits tirés de la confiture, dépouillés. Je cite cet exemple parce que j'ay mangé du même fruit et vérifié cette réflexion et que j'ay vue des fruits avec du brout que feu Monsieur Aubry, de Bingalle, m'a montré et des plans qui avoient tous les caractères décrits dans Rumphius en les blessant. Les antophiles des gérofliers étoient aussi si vieux et si noir qu'ils donnoient aussi les mêmes soupçons que les fruits de muscade.

Messieurs, quant au *plan que le sieur Poivre dit que la noix y est encore adherante, qu'elle est renfermée dans sa coque, de couleur brune sur laquelle on voit des traces du macis qui l'enveloppe, que cette noix est de la forme et grosseur d'une petite noix muscade (R3-1 [N4])*.

[fol. 2v] Je réponds à cela qu'il n'est point possible qu'un fruit pousse une tige s'y grande a des feuilles, sans que la noix s'ouvre et sans que la coque soit altérée, et sans que le paranchime de l'amande ne soit tombé en pourriture, surtout un fruit amandé qui contient tant d'huile, sujet avec l'humidité de noircir et de tomber en putréfaction. Il ne faut pas être grand naturaliste pour découvrir ce stratagème. Je vous ais encore fait remarquer que le terre de la baille qui contenoit ce prétendue plan étoit une terre préparée à l'Isle de France, avec du fumier si chaud que celui des

crottes de cabry. Une noix germée, arrosée pendant trois mois dans semblable matière, conjointement à la chaleur du climat doit se mettre dans une fermentation ou les fruits les plus durs ne doivent résister.

Par quel miracle le sieur poivre a-t-il conservé pendant sa traversée et trois ensus à l'Isle de France ces supposés fruits qui ont été toujours en terre et arrosés et néanmoins qui se sont trouvés bien entiers ?

La comparaison que fait le sieur poivre de sa noix à une noix muscade, n'est point juste, parce qu'une noix muscade avec sa coque est d'une grosseur bien différente d'une noix dépouillée, sèche, telles que celles que nous voyons tous les jours sur nos tables. Voilà la forme qu'avoit le fruit d'arec qui étoit dans la baille, quant aux impressions de la coque que le dit sieur suppose être celle du macis ce sont celles du brout et écorce de l'arec ainsi que le dit Rumphius, très illustre botaniste.

Messieurs, *si l'on m'avoit permis de toucher à ce faux plan* et si on avoit détaché un membre du conseil pour assister à sa transplantation, comme je le demandoit, *vous auriez vue par vos yeux la supercherie, que ce n'étoit n'y un plan, n'y un fruit de muscade, mais un rejet d'arbre étranger à cette Isle (R3-2 [P1])* qui avoit une petite courbure sur laquelle un fruit d'arec étoit appliqué [N4]. *Quant aux plans avoués morts par le sieur Poivre*, de ceux là je n'en parle point (R3-3 [P2]); mais de *la noix germé (R3-4 [N2])*, je vous prie, Messieurs, de vous rappeler qu'il y avoit *un fruit d'arec à fleur de terre de la baille couvert de crottes de cabry* très propre à consumer promptement les plantes les plus délicates. Et surtout les boutures et fruits qu'a cet arec, avoit *le dit sieur appliqué artistiquement un grain de sable qu'il donnoit pour le germe*, auquel vous-même, pour le bien et dans la crainte que je fisse mal, vous vous opposâtes que j'y touchasse. Mais persistant que ce fut

[fol. 3r] un caillou vous me permette de le tirer avec le manche d'un canif. J'eus l'honneur de vous montrer que ce n'étoit pas un germe, mais un grain de sable, l'instrument de la tromperie du présentateur. Alors je tirez du tour de cette prétendue noix muscade de la terre, elle vous parut telle que je la figure icy.

Est-il possible qu'on puisse dire que cela est une noix muscade germant ? Est-il possible qu'un fruit pousse une racine de cette

force sans germer? Est-il possible qu'il se trouve une matière ligneuse à l'extrémité d'un pivot aussi considérable sans que le germe soit développé, l'un et l'autre ne végètent ils pas de concert! Ce peut-il qu'une noix ne s'ouvre point à la partie du germe pour la laisser éclore? Tout cela est naturellement impossible; cette matière ligneuse étoit la marque de la matière coupée et autre rejet; ce que j'avois cru voir boutonné dessous étoit un tendre rejet fraîchement coupé.

Observation

La noix avoit été percés par cette extrémité et l'on y avoit introduit le pivot avec art, tel qu'il paraissoit, parce qu'un fruit ne sonne pas en frappant dessus et ne conserve point la forme entière après avoir végété de cette force.

Messieurs, le sieur Poivre ne vous a point parlé dans sa requête de deux autres fruit qui se trouvoient parmy ce mélange de terre préparée en cette Isle; il dit seulement après la trouvaille, qu'il s'étoit trouvé quatre noix dont deux étant coupées n'avoient nulle odeur, et deux autres avoient de l'odeur aromatique.

Ce qu'avance icy le sieur Poivre, et ce qui a été écrit en conséquence est très faux puisqu'il ne s'en est trouvé que deux dont *une a été coupée en votre présence et goûtée par vous-même (R3-5 [N1])*. Vous en avez trouvé le goût apre, et sans aucun aromathe. Le dit Sieur ne faisoit point mention dans son procès-verbal, des yeux des germes que j'ay apperçut à l'extrémité de ses derniers fruits, qui n'étoient qu'une matière végétale vive et appliquée par un trou, fait encore avec art, comme naturel. Parce que la partie du fruit

[fol. 3v] que vous avez goûté étoit fraîche et recente; et la partie ou étoit cet espece de germe étoit altérée comme pourrie, ce qui confirme mon opinion qu'une amande ne peut commencer à germer sans s'ouvrir et sans que la partie la plus voisine du germe ne soit saine.

De plus, si cette noix s'est trouvé la, il faut remarquer qu'elle étoit près du bord de la baille afin que je la pusse trouver dans le moment de la transplantation et tomber dans l'enthousiasme en rencontrant un fruit germant, supposant comme le dit sieur

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers

pensoit que sa ruze m'eut fait voir des arcs pour des muscades. L'exemple de l'année dernière devait lui avoir appris que dans la partie de la botanique il n'étoit pas facile de me tromper.

Quant aux deux *fruits avec aromates* que le sieur Poivre dit s'être trouvé, il a encore tort, puisque devant vous, Messieurs, il n'en s'est rencontré qu'un *lambeau de ses fausses muscades* (R3-6 [N5]) qui croissent à la cote de l'Inde.

R4-1 – « Jean-Baptiste Christophe Fusée-Aublet », ms. du 29 octobre 1755 (ANOM, Col. C1/3), fol. 95-96

R4-2 – « Pierre Poivre, Réponse à un écrit présenté le 29 octobre dernier (1755) par le Sr fusée aublet », ms. du 4 novembre 1755 (ANOM, Col. C/4/9, fol. 97-102¹²⁹)

1^{er} article du Sr Aublet

[Fusée-Aublet] Les *fruits contenus dans cette boîte* on etes donnés par le sieur Poivre au Conseil superieur de l'ysle de France pour des *vrayes noix muscades* le premier octobre 1755. Le sieur Aublet apothicaire de la Compagnie les a reconnueës fausses et estres au contraire des *véritable fruits d'arec* descripts par Rumphius dans son histoire des plantes des ysles moluques.

Reponse – Puisque le Sr Aublet cite Rumphius pour prouver que les noix muscades présentées, loin d'être des noix muscades, ne sont que des arcs, il est juste d'examiner ce que dit à ce sujet l'auteur cité. [...] La description que fait Rumphius du tronc et des feuilles de cet arbre est celle d'un palmier. [...] Voilà un commencement de description qui a beaucoup de rapport avec le plant que j'ai eu l'honneur de ramener au Conseil! Ce plant avait trois petites feuilles assez semblables à celles d'un poirier : cela n'a-t-il pas beaucoup de rapport avec un palmier? Voyons ce que le même auteur dit du fruit ou de la noix d'aréquier. Les parties [...] sont d'abord le brou ou enveloppe extérieure qui est un tissu de fibres de l'épaisseur d'un demi-doigt et, sous cette enveloppe, se trouve la noix sans aucune coque, de même grosseur et substance qu'une noix muscade mais plus dure et d'une

129 - Les rapports R4-1 et R4-2 sont fusionnés. Dans sa réponse (R4-2), Poivre reprend littéralement les affirmations de Fusée-Aublet (R4-1), avec quelques corrections orthographiques.

forme différente : [...] toutes les noix d'arec ont une forme conique aplatie du côté qui tient au pédicule et pointue à l'extrémité opposée. [...]

2nd article du Sr Aublet

[Fusée-Aublet] Sy joint a ces noix d'arec est un *plant que le dit sieur le Poivre a encore donné pour un plan du vray muscadier (R4-1 [P1])*. Le sieur Aublet l'a encore reconnu *faux et l'a trouvé sans racine, sans fibres*, tel qu'il est en substance dans la boîte. Ce plan luy a paru *un rejet d'arbre*. Il se promet que des experts dans l'agriculture le reconnaitront pour tel.

Reponse – le sir Aublet ne dit pas les raisons qui lui ont fait juger que le plant en question est un faux. Il espère sans doute qu'on l'en croira sur sa parole. Il est bien plus facile de décider que de prouver. [...] Il n'y a pas encore un mois que j'ai eu l'honneur de remettre ce plant au conseil [...]. *Je l'ai remis bien vivant, avec sa noix adhérente, avec ses feuilles entières, avec un pivot fort et vigoureux de cinq ou six pouces au moins de profondeur [P1]*. Le sir Aublet était alors présent [...] et a aujourd'hui la hardiesse de dire qu'il a trouvé ce plant sans racines. Il n'ose pas encore dire sans noix [...]. [...] n'était-il pas naturel de faire aussitôt remarquer l'erreur, soit en rapportant la petite baille devant le Conseil, soit en le priant de députer quelqu'un sur le lieu où le dit plant était transplanté ?

3^e article du Sr Aublet

[Fusée-Aublet] N° 1. *Arec coupé* en presence du conseil superieur le premier octobre present « donné » pour une muscade germant (R4-2 [N1]).

Reponse – lorsque j'ai présenté mon plant à Mrs du conseil, on a fouillé la terre pour découvrir la noix germante et partie de son pivot. Alors on a trouvé dans la terre une autre noix à moitié pourrie dont le jet n'existait plus mais dont le pivot était encore végétant [N1]. C'est apparemment l'arec dont parle ici le sir Aublet. [...] l'inspection seule du pivot devait prouver à un naturaliste que cette noix n'était pas un arec ; car suivant Rumphius même, cité par le sir Aublet, la racine de l'aréquier n'est qu'un

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers

amas confus d'une multitude innombrable de fibres noirâtres en dehors et blanc en dedans (Rump. ib. Fol. 28). *Une noix qui ne porte qu'un seul pivot de couleur rousse n'est donc pas une noix d'arec* [N1].

4^e article du Sr Aublet

[Fusée-Aublet] N° 2. *Arec qui étoit dans la baille avec une racicule en pivot, une matiere ligneuse a une des extremités ou l'on avoit cru voir un œil de germe apparent* (R4-3 [N2]), la marque de la matiere coupée; l'on voit encore a ce fruit de cette matiere ligneuse pourrie, et un lambeau de la racine separée également pourrie, [...].

Reponse – Le sir Aublet avoue enfin qu'une de *ces noix avait un pivot*. Il n'en dit pas la longueur, ni la couleur, ni la grosseur, ni la configuration intérieure : ce détail eut été contre lui et *n'eut pas convenu à une arec* [N2]. Un botaniste de bonne foi n'eut pas négligé ce détail. La matiere ligneuse dont il parle étoit le reste d'un premier jet mort et pourri. Ce n'étoit point à une des extrémités de cette matiere ligneuse qu'on avait vu un œil de germe. C'est au-dessous de laditte matiere que six personnes avec de bons yeux et une loupe à la main ont réellement vu un germe sortir de la noix. Ce germe étoit aigu, de couleur jaunâtre, d'une ligne et demie à deux lignes de longueur. [...]

5^e article du Sr Aublet

Fusée-Aublet – [...] l'amende de cette noix arec est encore fresche dans la partie ce qui la fait reconnoître. Elle confere les qualités requises d'escrites dans Rumphius. *Cette noix arec* [N2] *est la pretenduë muscade* que le sieur Poivre a voulu persuader le conseil estre réelle *a cause de l'impression de son enveloppe marquée dessus la coque* qui a beaucoup de rapport comme le dit Rumphius avec la marque de la muscade.

Reponse – *L'intérieur de cette noix* [N2] *a sans doute quelque ressemblance avec l'intérieur d'une noix d'arec*, tout le monde sait que ces deux fruits sont intérieurement marbrés : mais un arbre de natte pour avoir le cœur rougeâtre est-il pour autant un poirier ? [...] Il est vrai que j'ai présenté au conseil une noix germante

dont celle-ci peut être un triste débris : *mais je n'ai fait nul effort pour persuader les messieurs du conseil que cette noix était une muscade*. Je n'ai point apporté comme le Sr Aublet dans la salle du dit conseil un tas d'infolio et d'in quarto. Je n'ai employé ni grec ni latin. Je n'ai point taché d'éblouir ces mrs par de grands mots terminés en oïdés. La vérité agit plus simplement. [...]

6^e article du Sr Aublet

[Fusée-Aublet] N° 3. *Noix arec d'escrite dans Rumphius* chapitre cinq page vingt-six, Pinanga areca, page trente ligne trente deux, quarta varietas peculiarem itidem constituere videtur speciem adicitur pinang camssa, nuces ferens parcens, [...] (R4-4 [N3]).

Reponse – La noix dont parle ici le Sr Aublet est une *petite noix ronde trouvée dans la terre de la baille, qui paroît un avorton de noix : mais elle a une coque ligneuse comme les autres et, sur cette coque, l'impression du macis* [N3]. Ce ne peut donc pas être le pinang lanssa dont parle Rumphius : car enfin, l'arec lanssa est toujours une arec et par conséquent n'a qu'un brou filamenteux et point de coque. Le passage cité ici par sieur Aublet n'est pas falsifié, mais seulement tronqué, j'ajouterai ce qu'il y manque. [...] Le fruit présenté dont parle Sieur Aublet n'a point ce brou filamenteux, mais bien une coque gravée de l'impression du macis. Ce n'est donc pas l'arec lanssa.

7^e article du Sr Aublet

[Fusée-Aublet] N° 4. *Fausse noix muscade qui étoit placées sur la courbure du prétendu plan* (R4-5 [N4]) qui le dit sieur Poivre disait en faire partie. Je certifie que cette noix avoit été mise sur laditte courbure du plan qu'ainsy je l'ay trouvée divisée en deux, les deux parties ayant été rapprochées et pressées sur la courbure dudit rejet avec de la terre.

Reponse – [...] Quand à appliquer sur la courbure de plant une noix, je l'eusse assurément appliquée entière : autrement c'eût été prouver contre moi ; car *la coque de la muscade n'a pas de divisions et ne peut naturellement s'ouvrir ou se partager* [N4]. Je sçai que toute noix muscade divisée n'a pu l'être que forcément, et que par la même elle devient impropre à la germination. Je

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers

sçavois par conséquent qu'il me seroit impossible de persuader qu'une noix divisée eut jamais appartenue au plant en question, ou dut en faire preuve de sa qualité [...]. Le sieur Aublet est donc persuade qu'une noix muscade pour germer et nourrir le jet qu'elle pousse doit se partager. Pour moi je pense et je sçai tout le contraire. [...]

8^e article du Sr Aublet

[Fusée-Aublet] N° 5. *Partie de la muscade trouvée dans la terre en presence du conseil avec aromate (R4-6 [N5])*. Cette noix etoit samblable aux noix sauvages que Monsieur le president du conseil me remis l'année dernière pour en tenter le germination, qui avoient de l'aromate, mais ces noix ne sont pas celles qui passent dans le commerce. Parmi celles qui ont été présentées au conseil superieur il y en avoit une semblable.

Reponse – Cette noix muscade est précisément celle que le Sr Aublet arracha de la courbure du plant mort auquel elle adhéroit encore faiblement (*R4-6 [N5]*). Ce fut au sujet de cette noix que le dit Sr me soutint que si elle avoit jamais germée ou appartenue à quelque plante seroit ouverte et partagée en deux.

Si le dit Sr avoit bien lu son Rumphius, il sçauroit que ces noix longuers sont aussi bonnes que les rondes, si elles ne sont mesme meilleures. Je ne sçai pour quoi il les appelle sauvages, à moins que ce ne soit parce que c'est moi qui les avois envoyées ici. Si elles paroissent pas dans le commerce en aussi grande quantité que les rondes, c'est parce qu'elles sont plus rares à Banda. Au reste celle dont il est ici question paroissoit d'une qualité bien superieure aux autres quoique du mesme païs. Je l'avois remarqué lors meme que les plants me furent livrés.

9^e article du Sr Aublet

[Fusée-Aublet] N° 6. *Autre fausse noix muscade* qui c'est trouvé avec les autres mellées parmi la terre de la baille (*R4-7 [N6]*). Elle etoit dans le temps *remplie des petits anetons ou scarabes*. Il sy en trouve encore avec des morts.

Reponse – qu'est ce que le conseil a besoin de ces anetons ou scarabes morts. Voila bien de l'exactitude pour des bagatelles,

tandis qu'on en montre aucune pour l'essentiel.

10^e article du Sr Aublet

[Fusée-Aublet] *L'arbre [P1] que je représente en substance avec son fidelle dessin* est tel qu'il étoit lorsque le sieur le Poivre le remis au conseil. *Il n'avoit pas d'avantage de racines qu'i y en paraist, sans fibres*, quant aux feuilles elles étoient en parties vivantes mais deux jours apres quoy quelles n'eussent point vu le soleil elles perdirent une grande partie de leurs verdure. Le 29 octobre 1755, Fusée-Aublet

Reponse – J'ai entrevu seulement le dessing dont parle ici le Sr Aublet. Il ma paru faux du moins pour la configuration des feuilles. Celles du plant se terminoient en pointe. Il y en avoit une dont la pointe étoit moins aigue et par quelque accident plus émoussée que celles des deux autres. Il m'a paru que c'est la feuille à laquelle seule on n'a pas touché. Les autres ont été déchirées; il a fallu rendre le dessing vraisemblable. Quant au plant desseché rapporté par le Sr Aublet, j'avoue ne l'avoir pas bien examiné. Au premier coup d'œil il m'a paru être réellement un triste debris de celui que j'avois eu l'honneur de remettre au conseil, et c'est dans ce sens que je déclare avoir signé que je l'ai reconnu. [...]

R5 – « Jean-Baptiste Christophe Fusée-Aublet, Mémoire sur les muscadiers présentés au Conseil par le Sieur Poivre », ms. du 15 mars 1757 (ANOM, Col. C/4/9, fol. 384-385)

[fol. 384r] Le Sr. Poivre a rapporté en 1754 cinq plants qu'il a voulu, à force de compliments et de promesses, m'engager à me les faire recevoir comme des muscadiers mais n'ayant aucun goût, aucun aromate, et nul rapport avec ce qu'en disent les auteurs qui traitent de cet arbre. Je dis à Monsieur Bouvet, chef de ce temps, que je ne pouvais donner aucun certificat ni recevoir les arbres qui étoient chez le sieur Mabilie pour des muscadiers. Monsieur Bouvet répondit qu'il croyait mieux le sieur Poivre que tous les botanistes et bibliothèques du royaume.

L'arbre remis à M. Lejuge, deux au sieur Frichot, deux au sieur

Dans la « fabrique du savoir » des muscadiers

Longchamp, officier d'infanterie, donné à M. Lejuge pour un mangoustan, dits à M. Bouvet par le Sieur Poivre des muscadiers, tous les cinq mort.

Le 1er octobre 1755, je fus appelé par le Conseil supérieur pour vérifier la représentation du sieur Poivre. Il montra [des antophiles de girofliers triés et], *tirés de la confiture, des fruits de muscades sans brou, sans macis se brisant entre les doigts, et brisés en présence du conseil par le sieur Aublet [Noix du commerce]*. Il n'y a point trouvé de noix, seulement un brin de matière ridée, sèche, moisie, qui lui a fait dire que ces fruits avaient été tirés de la confiture, dépouillés du brou qu'on mange.

Parmi ces muscades étoit une semblable à celle que le Vaisseau Le Machault que Monsieur Magon a expédié de Queda pour nous garantir de la famine,

[fol. 384v] nous a rapporté : fausses muscades qui se trouvent décrites dans l'Hortus Malabaricus et Thesaurus Zeylanicus non propres au commerce.

L'on a ensuite découvert une baille où étoit *un rejet d'arbre (R5-1 [P1]) ingénument mis en terre comme un plan de muscade réel, et donné pour tel, auquel l'on a permis de toucher, on a fait apercevoir une muscade soi-disant germante (R5-2 [N2])*, on ne voulait point permettre de toucher ce fruit. Le sieur Aublet a reconnu *ce prétendu germe être un grain de gravier artistiquement appliqué*. Le sieur Aublet [...] prouvé au conseil l'ayant tiré avec la pointe d'un canif et remis entre les mains de Messieurs les conseillers présents.

Le sieur Aublet a encore tiré un *fruit de la même nature qu'on disait germer (R5-3 [N1])*. On voulait l'empêcher de couper, mais nonobstant, tenant un canif en main, *il a coupé et fit voir par son parenchyme, ses veines [sèches], sa couleur, son goût et son odorat et même sa forme que c'étoit un fruit d'arec* décrit par Rumphius, Histoire des îles Moluques, tome 1, page 26, chapitre 5, page 27, ligne 54.

Dans cette même baille, *étoit un fruit de la même forme qui avait une longue radicule et le pivot coupé dans la transplantation (R5-4 [N5])*. Le sieur Aublet a observé que *c'étoit un pivot d'un autre plan (R5-5 [P2])*, comme du jamrosa que le sieur Poivre, par ruse,

avait appliqué par un petit trou du dit fruit, puisque le fruit avait conservé toute sa forme, ne s'était point ouvert, que la radicule, environ cinq pouces de long, la partie de cette attache comme pourrie, et le reste de la noix saine et toute entière.

Dans la dite baille, il s'est encore trouvé *une arec (R5-6 [N3]), grosse comme une balle de fusil, décrite par*

[fol. 385r] *Rumphius*, chapitre 35, page 26 et 30, ligne 32.

Quant aux plans lors de la transplantation qui avait été faite le même jour, le sieur aublet a trouvé au lieu d'un plan, un rejet d'arbre, ainsi qu'il en a envoyé le dessin à Messieurs le Duc D'Ayen, Malesherbe, Bombarde, Montaran et la Compagnie. *Il y avait dans la courbure de ce rejeton une fausse muscade de Queda (R5-7 [N4]), appliquée dessus, coupée en deux*, non seulement et n'était pas un plan, c'est qu'il n'avait ni fibre, ni racine et cette bouture ou branche n'avait nul rapport avec ce que dit Rumphius, livre 2, page 14, chapitre 5, ligne 32 et Monsieur Geoffroy, de l'Académie royale des sciences dans sa matière médicale, tome 3, page 312, ligne 27. Le sieur Aublet certifie qu'il n'a découvert en tout ce produit qu'une ruse des plus étudiées, qu'il fallait avoir suivi plusieurs années les leçons des Messieurs de Jussieu pour n'être pas surpris par une trame semblable.

Le sieur Aublet ajoute que les cinq arbres présentés à Monsieur Bouvet en 1755 n'avaient aucun rapport avec celui dont on parle, qu'il se rencontre encore en ce fait une contradiction manifeste.

R6 – «Jean-Baptiste Christophe Fusée-Aublet, Séjour à l'Île de France 1753-1761 – Documents d'intérêt biographique», ms. s. d. (MNHN, ms. 452, fol. 98-125¹³⁰)

[fol. 105 / p. 166] [...] Le 3 juin de la même année le Sr poivre savisa de présenter au conseil la cargaison du navire, cet a dire une gamelle remplie de la terre de l'île de france melée de crote de cabris et de debris de la porcelaine terre qu'il avait pris dans

130 - Voir également les page 158-188 de la version numérisée du manuscrit (Museum national d'histoire naturelle, ms. 452), disponible sur : https://bibliotheques.mnhn.fr/EXPLOITATION/infodoc/digitalCollections/viewerpopup.aspx?seid=MNHN_MS452.

le jardin de son ami ou il avait arrange ce que nous dirons. Il presente donc cette gamelle et avec un plan soit disant un muscadier. Il en donne la description faite de sa façon, il presente des fruits de gerofliers *tiré de l'eau de vie [ou du sucre] et lavés*. Il y joint des *muscades dépouillées de leur brout* qui avoient souffert la meme opération. On vouloit s'opposer que je casse de ces muscades mais elles se *brisaient entre les doigts*, elles ne contenaient qu'une substance noire ridée moisie [*Noix du commerce*].

Voila deja une de ces representations. on me decouvre une baie. Je vois un *chetif plant brulé par leau de mer, ou par le soleil, cependant paraissant vivant et une partie des feuilles vertes* (R6-1 [P1]). Ces feuilles etoient de la consistance de celles du rocou, cela s'est dit et ecrit devant le Sr Poivre.

Les noix dont il parloit dans la terre etoient des fruits de l'hernandia (R6-2 [N6]), ce que je ne dis pas alors parce que je ne connoissois pas l'interieur du fruit de l'hernandia, *et des arecs ou il avoit placé un grain de sable qu'on auroit juré que setoit un fruit germent* (R6-3 [N2]). Mais j'avois la vue persante, je decouvris la tricherie. On s'oposait que j'y touchois. Mais vif comme je l'étois alors, je pris le canif qui etoit sur la table et je fis voir au conseil que ce n'étoit pas un germe.

[fol. 106 / p. 167] Je fis mieux, je pris une de ces pretendues muscades a laquelle le dit Sr avoit introduit le germe de quelconque plante. On crioit, on s'opposoit, mais *je coupais en travers la dite muscade que je nommais arec parce qu'il y avoit [de] longues années que je connoissois ce fruit* (R6-4 [N1]). L'interieur a beaucoup de raport par son arangement a la coupure de la muscade. Mr [Courcel?] conseiller qui est actuellement a paris, presant, je l'engageais a en gouter. *Il convint que le gout étoit apre et abstringent, sans aromatisé, ce que j'avois dit au conseil*. Il est bien surprenant qu'il le trouva d'arec et des muscades. *Quant a celle qui paraissoit tenir au plant et qui frappée sonnoit etoit une muscade longue aromatique, la meme especes que celles que mr bouvet m'avoit donné l'année entessedente* (R6-5 [N5]), sorte de muscade que les pauvres font usage dans l'inde, qui se trouvent a la cote malabare et ailleurs [...] Mr Magon en apporta plusieurs sacs qui se distribuerent à l'ile de france desquelles j'ay encore comme plusieurs autres especes et je n'ai de la vrai muscade dans mon grenier que celle que j'ai tiré du sucre, venant de Batavia, quoique j'aye

de toutes celles dont le Sr Poivre a envoyé, apporté et publié avec tant d'ampleur.

Enfin on me chargea du soin de ce plan. Je le refusois hors qu'un de mrs les conseillers fut present a la transplantation. Mr Dagan alors procureur du Roy me dit la compagnie et le conseil a confiance a vous et est persuadé des soins que vous prendrés [...]

[fol. 107 / p. 168] Je fis le meme jour transporter ce plan au reduit avec toutes les precotions inimaginable, je disposois un quarré vis avis le logement des deux jardiniers blancs que j'avois et je plassois a cote ou je devois faire cette plan[ta]tion, un tonneau dans lequel couchoit un negre armé d'un fusil et un chien. Le Sr Gourlier, arpenteur, se trouvait par hasard au Réduit. Quelle fut ma surprise en renversant cette gamelle. Je ne voyais ny racines ny fibres, j'arrivois a la noix, *cetoit une noix percée et coupée en deux de Queyda (R6-6 [N4])* ou on avoit introduit la jeune pousse d'un arbre que je reconnus dans la suite etre l'acajou [P1]. Je fis tout ce que je pus pour tacher de faire pousser quelques racines a ce tendre pousse, afin de pouvoir mieux prouver la fourberie, mais ce fut en vain. Tout se dessecha. Dans les terres il sy trouvoit des miseres de racines, de radicules, des arecs et des hernandias, mais rien ne voulut germer. Je profitais de la presence du Sr Gourlier qui dessina ce plan tel qu'il étoit et la noix. Lorsque je neus plus d'esperance, je presentais une requette au conseil et je leur rapportais tout. Et ce tout fut renfermé,

[fol. 108 / p. 169] comme je le requerois pour etre envoyé à la compagnie, mais le sr Poivre eut asses du crédit pour que la boete fermée du seau du conseil, du cachet de mr bouvet et du mien ne parvint jamais à la compagnie.

Le primat de l'induction dans la phytosociologie upsaliennne (1918-1940)

Convergences transdisciplinaires

Fabrice Roux *

Résumé : La phytosociologie, science qui étudie les associations d'espèces végétales, a été développée dans les années 1920 par plusieurs écoles aux méthodologies bien différentes. Les raisonnements mobilisés dans la méthode d'Upsal sont examinés en détail. La thèse défendue ici est que les outils de traitement des relevés floristiques effectués par les botanistes de cette école, au premier rang desquels Gustaf Einar Du Rietz, dérivent logiquement d'un positionnement épistémologique initial qui surdétermine les autres. Davantage que les auteurs qu'il mentionne comme références fondatrices, l'inductivisme radical de Du Rietz apparaît comme la source essentielle de l'appareil méthodologique et des représentations qu'il tente de diffuser. Cette hypothèse se trouve confortée par l'examen d'auteurs ayant eu la même prémisse méthodologique, l'induction pure, dans d'autres sciences qui opèrent sur d'autres collectifs hétérogènes afin d'en déterminer l'intelligibilité : l'anthropologie et la botanique systématique. Les représentations auxquelles on aboutit en partant du même principe initial, sont en effet proches de celles que Du Rietz a affirmé pour la végétation : description structurale d'objets en réseau, qui se prête à l'analyse statistique, peu attachée à la recherche des causes explicatives, en particulier celles invoquant le milieu.

Mots-clés : phytosociologie ; induction ; démarche scientifique ; anthropologie ; taxonomie.

Summary: *The science of plant sociology, or the study of associations between plant species, experienced a major period of development in the 1920s, through the work of different authors identified as leaders of "methodological schools." Here, we propose a thorough study of the school of Uppsala. We argue that the treatment of floristic data by the botanists of this methodological current, whose main representative was Gustaf Einar Du Rietz, are a logical consequence of an initial epistemic position that overdetermines the others. As far as the rep-*

* Fabrice Roux, centre François Viète d'épistémologie et d'histoire des sciences et techniques, Nantes Université, 2, rue de la Houssinière, 44000 Nantes. Email : roux.fabrice@yahoo.fr.

resentations and methodologies are concerned, the inductivist choice made by Du Rietz appears to be far more important than the authors quoted by him as the source of his own system. This hypothesis seems to be corroborated by a parallel study of allied sciences, namely anthropology and botanical systematics, which also work with collections of heterogeneous objects that need to be ordered in an intelligible way. In these disciplines, authors with "pure induction" as their fundamental premiss for good scientific work, developed quite a similar pattern to the vegetation depicted by Du Rietz: a structural description of elements in a network, designed for statistical analysis, little interest in causal explanation, particularly in terms of environmental determinism.

Keywords: *plant sociology; induction; scientific reasoning; anthropology; taxonomy.*

Les progrès dans les sciences de la végétation à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle ont été retracés dans plusieurs chronologies détaillées, notamment celles d'Eduard Rübel¹ (1920) et de Gustaf Einar Du Rietz² (1921). La phytosociologie qui en fut une des voies les plus fécondes avec l'étude des associations d'espèces végétales³ a cherché une autonomie disciplinaire et une spécificité méthodologique reposant sur trois principes : l'étude des communautés de plantes (synécologie) et non des espèces séparément ; une approche inductive qui part des listes d'espèces de chaque végétation, sans a priori sur la dépendance de la végétation à l'égard du milieu ; l'utilisation de l'outil statistique pour traiter ces listes d'espèces. Sur ces bases, la science des associations végétales entendait se distinguer de la géographie botanique du début du XX^e siècle.

Trois systèmes phytosociologiques concurrents ont émergé dans les années 1910-1930 ; selon la variable descriptive première choisie (espèces dominantes, espèces caractéristiques d'un milieu, ou rapport nombre d'espèces / nombre de genres), des raisonnements très différents furent menés afin de justifier

1 - Eduard Rübel, Über die Entwicklung der Gesellschaftsmorphologie, *Journal of ecology*, 8/1, (1920), 18-32.

2 - Gustaf Einar Du Rietz, Zur methodologischen Grundlage der modernen Pflanzensoziologie (Vienne : A. Holzhausen, 1921), 36-127.

3 - Seront ici qualifiés de phytosociologues ou sociologues de la végétation les seuls auteurs qui se proclament comme tels.

le bien fondé de chacun ⁴.

Ce travail explore la cohérence d'un de ces systèmes développé à Upsal par G. E. Du Rietz (1895-1967) au cours de la période 1918-1940, système dont l'originalité repose sur l'idée d'une végétation qui serait interprétable uniquement à partir de sa propre composition; en d'autres termes, l'étude de la végétation doit exclure l'idée de son déterminisme par les conditions physico-chimiques ⁵ dans toutes les étapes de l'analyse.

Précédemment, d'autres disciplines comme la systématique botanique en sciences de la vie ou l'anthropologie en sciences humaines avaient développé des schémas argumentatifs et des représentations de leurs objets dont les similitudes avec la nouvelle science de la végétation interpellent. Nous soutenons que ces similitudes sont fondées et qu'elles ont pour origine un même principe commun guidant la méthode de traitement des observations : l'importance majeure de l'induction. L'idée que la pratique du scientifique dans le recueil des données oriente voire contraint le mode d'administration de la preuve et les représentations qui en découlent rapproche notre propos de travaux récents comme ceux de Malte Christian Ebach en histoire de la biogéographie ⁶.

On présentera dans un premier temps les principes méthodologiques de la phytosociologie upsalienne, en montrant que la procédure de relevé et de traitement des listes floristiques fait système avec le mode de lecture de la végétation, c'est-à-dire la délimitation des groupements végétaux. On tâchera de comprendre ensuite comment, historiquement, l'induction est venue occuper une place prépondérante dans les pratiques scientifiques des botanistes de l'université d'Upsal avant les années 1920. Le deuxième temps de notre propos explorera des travaux en systématique botanique et en anthropologie ayant convoqué ce principe de l'induction radicale, et on expliquera

4 - Fabrice Roux, « Les Raisonnements des premiers phytosociologues (1910-1940) : Convergences épistémologiques avec les sciences humaines », thèse de doctorat (Nantes Univ., 2022).

5 - Ce qui ne signifie pas que l'influence de ces conditions soit niée; elle est seulement non intégrée dans l'analyse. À partir de 1930 cependant, l'effet du milieu commencera à être prise en compte. Voir Roux, *op. cit.* in n. 4.

6 - Malte Christian Ebach, *Origins of biogeography : The role of biological classification in early plant and animal geography* (Springer, 2015).

comment ils ont conduit, avant la phytosociologie upsaliennne, à des schémas discursifs très comparables à ceux du Suédois. Analysés par leurs méthodes, les textes de Michel Adanson, d'Antoine-Laurent de Jussieu, d'Adolf Bastian, dévoilent en effet une convergence avec ceux de Du Rietz, c'est-à-dire une parenté de représentations causée par une même méthode dans trois champs disciplinaires distincts. La délimitation des objets complexes étudiés, le traitement de leur variabilité et de leurs similitudes, leur présentation en réseau, ont donc pu se produire de façon similaire chez des auteurs qui ne se sont jamais mutuellement cités.

Les méthodes et le schème argumentatif de l'école d'Upsal

Le primat de l'induction

La phytosociologie d'Upsal s'oppose nettement aux deux autres sociologies végétales du début du xx^e siècle. L'école sigmatiste, menée par le Franco-Suisse Josias Braun-Blanquet (1884-1980), d'abord à Zurich puis à Montpellier, pose son principe dès 1913 : ce sont les espèces caractéristiques révélatrices de conditions écologiques particulières qui doivent être prises en compte. Moins diffusée, la sociologie végétale de Paul Jaccard (1868-1944) procède par la comparaison d'indices numériques (coefficients de similitude, diversité spécifique des genres) entre surfaces de végétation de très petite taille.

Braun-Blanquet et Jaccard estiment nécessaire d'échantillonner dans un milieu homogène du point de vue des conditions du milieu, car ils supposent que c'est la seule garantie d'avoir une unique association et non un mélange; ils ne se débarrassent donc pas complètement de l'idée de milieu déterminant. Du Rietz s'écarte profondément de ces deux auteurs en s'affranchissant totalement de l'idée de milieu, considérant que les relations entre espèces (par exemple l'avantage du premier arrivé) peuvent bien mieux expliquer la structure de la végétation. Selon lui le milieu intervient certainement dans la répartition des espèces, mais il est vain de vouloir isoler dans un lieu donné

les facteurs ayant le rôle déterminant ⁷.

Ces idées reprennent les travaux de Thore Christian Elias Fries (1886-1930), directeur de la Station de Sciences Naturelles de la Réserve d'Abisko, pour qui « les types de végétation dans la nature sont pour ainsi dire accessibles directement, sans autre fait tangible, tandis que la station et les facteurs qui lui sont liés sont des quantités simplement inconnues ⁸ ». Tor Åke Tengwall et Du Rietz rejoignent Fries au séminaire de Rutger Sernander à Upsal, et en 1918 les trois botanistes cosignent une étude qui marque le début de l'« école d'Upsal » dans les sciences de la végétation ⁹. Cette école s'inscrit dans l'enseignement de Sernander (1866-1944), lui-même élève de Ragnar Hult (1857-1899), géographe finlandais ayant étudié à Upsal qui a configuré durablement les principes de l'analyse de la végétation en Suède au tournant du xx^e siècle. Celle-ci doit se faire par la structure schématisée par un diagramme de Hult-Sernander et elle peut se passer de la référence au milieu. Prolongeant cette lignée intellectuelle, Du Rietz fait paraître en 1921 son premier traité de sociologie végétale ¹⁰; il fustige ce qui est alors nommé « écologie », un champ disciplinaire entièrement tourné vers l'effet des conditions physico-chimiques sur les plantes.

Les espèces dominantes, variables clés

Sur le terrain, on discerne des taches de végétation généralement bien circonscrites grâce à des discontinuités nettes, lorsqu'on passe d'une surface dominée par une espèce à une autre surface délimitée par une autre espèce ¹¹. L'étendue des espèces

7 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 2; p. 45-46, critique de la géobotanique déductive de Candolle; p. 76-77, il déplore que la démarche inductive de Brockmann-Jerosch ait été prolongée en Suisse par une phytosociologie entièrement soumise au déterminisme par les conditions du milieu. Voir aussi Gustaf Einar Du Rietz, Life-forms of terrestrial flower plants, *Acta phytogeographica suecica*, 3/1 (1931), 42-43.

8 - Thore Christian Elias Fries, *Botanische Untersuchungen in nördlichsten Schweden : Ein Beitrag zur Kenntnis der alpinen und subalpinen Vegetation in Torne Lappmark* (Upsal : Almqvist & Wiksells, 1913), 49; traduction de l'allemand par l'auteur.

9 - Gustaf Einar Du Rietz, Thore Christian Elias Fries, Tor Åke Tengwall, Vorschlag zur Nomenklatur der soziologischen Pflanzengeographie, *Svensk botanisk tidskrift*, 12 (1918), 146-166.

10 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 2.

11 - Du Rietz a cependant évolué sur cette question, et reconnu de nombreux cas où les transitions sont lentes entre deux sociations distinctes

dominantes qui imposent à la végétation sa physionomie constitue alors la surface homogène dans laquelle se fait l'échantillonnage; ce point de départ est le même que celui des méthodes dites physionomiques développées au siècle précédent ¹².

La méthode upsalienne ¹³ pose que deux surfaces de végétation même séparées par une grande distance appartiennent à un seul groupement homogène appelé « sociation », dès lors qu'elles sont dominées par les mêmes espèces dans les mêmes strates. Cette affirmation est une conséquence du principe affirmé plus haut : l'espèce dominante est le descripteur le plus significatif d'un secteur de végétation. Dans chaque strate (appelée synusie), on réalise l'inventaire floristique complet dans plusieurs échantillons ponctuels de quelques m². Après de nombreux échantillonnages dans toutes les strates d'une même sociation, les constantes floristiques de la sociation apparaissent.

Braun réfute le caractère naturel de la sociation ainsi définie : « Les dominantes sont souvent des ubiquistes, croissant dans des stations très différentes [...], elles nous instruisent peu sur le caractère écologique ¹⁴. » Les espèces dominantes « perdent dès lors leur valeur spécifique et élective ¹⁵ ». Du Rietz doit alors répondre à ces objections : comment montrer que les sociations définies à l'aide des espèces dominantes sont bien un groupe naturel ?

La loi de constance, pivot de l'argumentation

Par un effort soutenu de collecte des données et de traitement statistique élémentaire, il fait observer que tous les relevés d'une même sociation, par définition sous le couvert des mêmes espèces dominantes, contiennent également un même noyau d'espèces constantes moins abondantes et moins visibles de prime abord. Le fait de révéler l'existence de ce noyau de constantes

12 - Charles E. Moss, The fundamental units of vegetation : Historical developments of the concepts of the plant association and the plant formation, *New phytologist*, 9/1-2 (1910), 18-53.

13 - Rudy Becking, The Zürich-Montpellier school of phytosociology, *The Botanical review*, 23/7 (1957), 411-488.

14 - Josias Braun, Ernst Furrer, Remarques sur l'étude des groupements de plantes, *Bulletin de la société languedocienne de géographie*, 36 (1913), 21.

15 - Josias Braun, Les Cévennes méridionales (massif de l'Aigoual) : Étude phytogéographique, *Archives des sciences physiques et naturelles*, 39 (1915), 249.

qui n'était pas originellement perceptible mais qui émerge de la comparaison des mesures constitue un argument fort en faveur de l'approche de la végétation par les dominantes.

Une loi de constance est ainsi formulée : « Pour chaque association¹⁶, un trait distinctif est la présence d'un grand ou d'un petit nombre d'espèces constantes, lesquelles se présentent dans toutes les taches de végétation suffisamment grandes. Grâce à une recherche sur un nombre suffisant de surfaces de même dimension de cette association, on peut trouver que ces espèces, les constantes de l'association, dépassent toujours significativement en nombre celui des espèces des autres classes de constance¹⁷. »

Puisque la délimitation des sociations par les espèces dominantes conduit à des régularités exprimables en termes de lois, il est évident pour Du Rietz que cette délimitation est légitimement fondée et validée par les observations. Cependant, si la notion de dominante se comprend d'elle-même par la seule observation sur le terrain, la notion de constante est une construction statistique dont l'objectivité peut être douteuse, comme n'ont pas manqué de le remarquer plusieurs critiques.

Force et faiblesse de la preuve statistique

Selon la méthode upsalienne, une espèce constante doit se retrouver dans au moins 90 % des relevés-échantillons d'une même sociation. Cette exigence rigoureuse s'est avérée difficile à tenir¹⁸ et Du Rietz a dû envisager d'assouplir cette notion en considérant des constantes locales et des constantes régionales, c'est-à-dire des espèces qui ne sont en réalité pas constantes sur toute leur aire de répartition, dénaturant ainsi quelque peu la force de la démonstration¹⁹. Il prend soin d'étudier la variabilité de

16 - En 1921, Du Rietz emploie le mot « association » pour désigner un groupement végétal délimité et caractérisé par ses dominantes. Dans le courant des années 1920, l'association est définie différemment par Braun-Blanquet, en faisant intervenir les espèces caractéristiques (voir *supra*). Afin d'éviter la confusion avec cette conception qu'il rejette, Du Rietz remplace « l'association définie par les dominantes » par le mot « sociation ».

17 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 2, 144 ; traduction de l'allemand par l'auteur.

18 - Jules Pavillard, *Controverses phytosociologiques* (Montpellier : impr. Roumégous et Déhan, 1925), 12.

19 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 2, 144.

chaque sociation et d'en proposer des interprétations plus ou moins convaincantes²⁰.

D'autre part, plusieurs auteurs²¹ ont contesté la façon dont ces relevés ponctuels, de quelques m² chacun, étaient effectués pour établir la constance d'une espèce; selon eux, le nombre d'espèces constantes varie en fonction de la superficie des échantillons, d'où le fait que des espèces considérées comme accessoires puissent devenir des constantes si l'on augmente la surface de l'échantillon, ce qui invalide la notion²².

La ligne de défense de Du Rietz fut de multiplier frénétiquement les relevés, de façon à montrer que le nombre d'espèces constantes n'augmentait jamais au-delà de 16 m² de surface, et dans l'immense majorité des cas pas au-delà de 4 m², aire minimale pour laquelle on peut obtenir la liste de toutes les constantes. Mais, rétorque Pearsall, « tout le fondement du concept de constance / aire minimale apparaît dépendre de la nature particulière des associations examinées par les auteurs²³. Celles-ci possèdent un nombre assez important d'espèces abondantes, de telle sorte qu'un nombre relativement important de constantes se rencontrent sur de petites surfaces, et la courbe aire / constance a une forme particulière²⁴. » Cramponné à l'idée de la supériorité des observations sur les considérations théoriques, Du Rietz répond : « Lorsque les spéculations théoriques et les faits empiriques se contredisent, la première idée qui nous vient devrait être, pour accepter cette contradiction, qu'elle provient de prémisses inexacts²⁵. »

Il n'est pas possible de détailler les autres faiblesses et objec-

20 - Gustaf Einar Du Rietz, Vegetationsforschung auf soziationsanalytischer Grundlage, in Emil Abderhalden (dir.), *Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden*, tome XI, partie 5 (Berlin et Vienne : Urban & Schwarzenberg, 1930), 421-457.

21 - William Harold Pearsall, The statistical analysis of vegetation : A criticism of the concepts and methods of the Uppsala school, *Journal of ecology*, 12 (1924), 135-139; Harald Kylin, Über Begriffsbildung und Statistik in der Pflanzensoziologie, *Botaniska notiser* (1926), 81-180.

22 - Roux, *op. cit.* in n. 4, 232.

23 - Ramón Margalef faisait une remarque assez proche concernant l'influence du paysage végétal sur les méthodes employées. Ramón Margalef, *Perspectives in ecological theory* (The Univ. of Chicago Press, 1968), 26.

24 - Pearsall, *op. cit.* in n. 21, 139; traduction de l'anglais par l'auteur.

25 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 2, 143; traduction de l'allemand par l'auteur.

tions contre la méthode upsalienne²⁶. On retiendra qu'en l'absence de référence à la preuve externe que pourrait constituer la corrélation entre chaque sociation et certains paramètres du milieu pour appuyer la démonstration, Du Rietz reste confiné à un régime de preuve par la masse des données. En 1921, date de publication de son mémoire méthodologique, plus de 20 000 relevés ont déjà été faits, ce qui assure selon lui la consistance de son système²⁷. Face aux critiques mathématiques, il disqualifie le point de vue de ses adversaires en pointant le manque de données empiriques²⁸.

L'inadéquation de la classification hiérarchique

Après avoir expliqué la méthode permettant de définir les sociations, Du Rietz tente de les organiser dans une classification hiérarchique : les sociations qui possèdent au moins une strate avec une dominante commune sont réunies en une consociation²⁹ (voir figure 1). Pour les sociations à 2 ou 3 strates, les possibilités d'emboîtement sont faibles. Du Rietz a alors recours à « l'affinité sociologique », terme peu précis qui prend en compte la composition floristique générale. Ce terme d'« affinité sociologique » qui indique que c'est la « ressemblance globale » qui compte, est hautement significatif car il situe Du Rietz dans la tradition taxonomique de Michel Adanson et Antoine-Laurent de Jussieu, partisans de la « méthode » basée sur les « affinités ». Ce point de convergence sera développé plus loin.

Une autre difficulté du système hiérarchique a été relevée par Du Rietz lui-même : lorsque deux sociations ont plusieurs strates partageant les mêmes dominantes, on choisit par convention la strate la plus haute comme critère de regroupement : dans l'exemple au bas de la figure 1 ci-dessous, les trois sociations partageant la strate à *Vaccinium myrtillus* ne peuvent pas être regroupées en consociation en raison de la primauté à la strate la plus haute. De l'avis même de son auteur, cette classification hiérarchique est donc artificielle³⁰.

26 - Roux, *op. cit.* in n. 4, 252 sqq.

27 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 2, 143.

28 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 2, 143.

29 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 20, 311 et 314.

30 - Gustaf Einar Du Rietz, Classification and nomenclature of vegetation, *Svensk botanisk tidskrift*, 24/4 (1930), 496.

La vision réticulaire des sociétés végétales

Pour ne pas imposer de hiérarchie artificielle, Du Rietz reconnaît alors l'intérêt de considérer le groupement végétal comme une combinaison de strates (synusies), une solution qui avait déjà été proposée par Helmut Gams³¹. Les éléments en commun relient alors les différents groupements dans toutes les directions, ce qui permet une représentation plus ouverte que l'emboîtement hiérarchique ; les relations entre unités prennent de ce fait la forme d'un réseau, ce qui paraît plus naturel à Du Rietz qu'un arbre hiérarchisé.

Un premier niveau de ce réseau est constitué par l'ensemble des surfaces de végétation dominées par les mêmes espèces dans les différentes strates : ce réseau est celui de la sociation (voir haut de la fig. 1). Une analogie entre la sociation et l'espèce est alors possible³² parce que pour Du Rietz l'espèce botanique est aussi un réseau de biotypes reliés par des caractères semblables, séparé des autres espèces par des discontinuités plus ou moins nettes³³. Le phytosociologue suédois conçoit également un réseau de réseaux, les sociations pouvant être plus ou moins fortement unies entre elles en fonction du nombre de strates dominées par les mêmes espèces³⁴ (figure 2).

Finalement, en posant comme principe de naturalité de la classification la présence d'espèces dominantes communes et en ignorant l'explication par le milieu, la classification hiérarchique s'est heurtée à plusieurs difficultés amenant certains phytosociologues de l'école d'Upsal à une organisation réticulaire des différents types de sociations. Le cumul d'observations toujours plus nombreuses s'inscrivant dans ce réseau devient alors le

31 - Helmut Gams, *Prinzipienfragen der Vegetationsforschung : Ein Beitrag zur Begriffsklärung und Methodik der Biocœnologie*, *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 63 (1918), 293-493.

32 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 20, 308.

33 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 20, 294.

34 - Un ensemble de synusies (ou strates) d'un même niveau dominées par les mêmes espèces forment un « consociation », quelle que soit la position verticale occupée par cet ensemble et quelles que soient les sociations auxquelles appartiennent ces synusies. On peut distinguer ainsi des sociations plus proches que d'autres selon qu'elles sont ou non liées à un même consociation ou à deux consociations, en évitant la convention arbitraire de la strate la plus haute qui, dans la classification hiérarchique, définissait la consociation. Du Rietz, *op. cit.* in n. 20, p. 334.

Le primat de l'induction dans la phytosociologie upsalienne

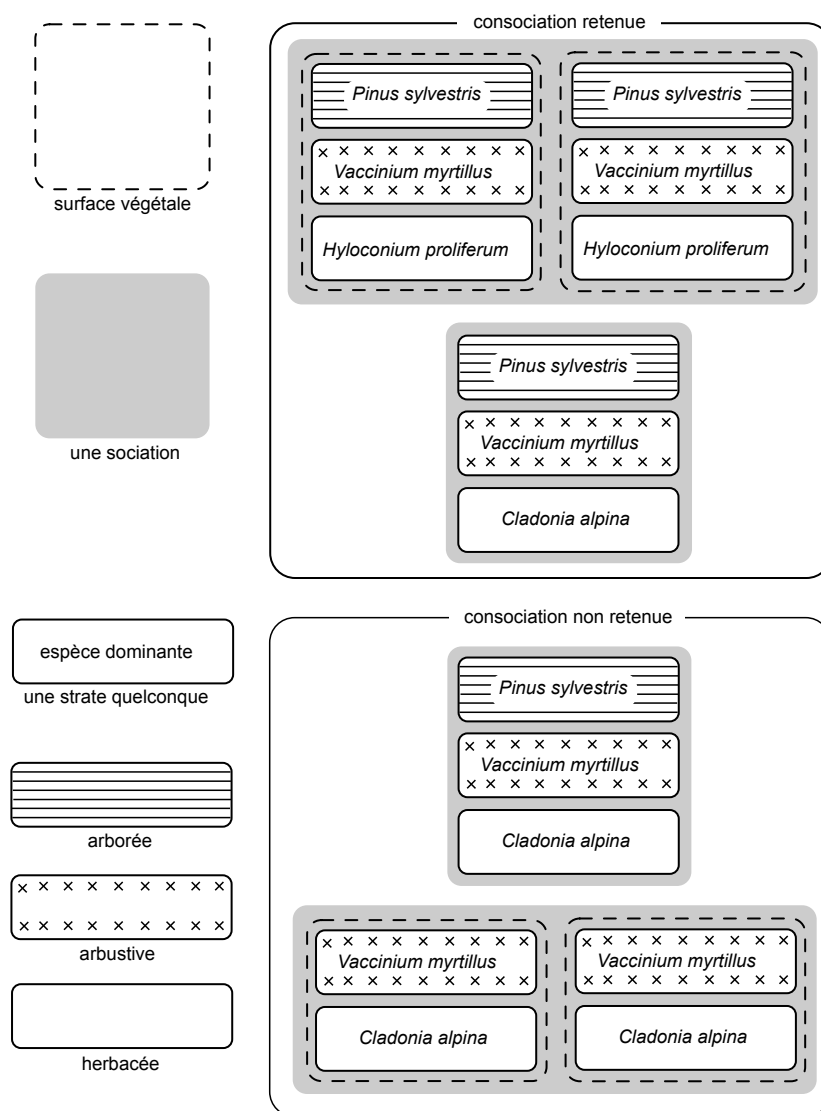


Figure 1
Principe du regroupement des sociations en consociation, selon un mode hiérarchique

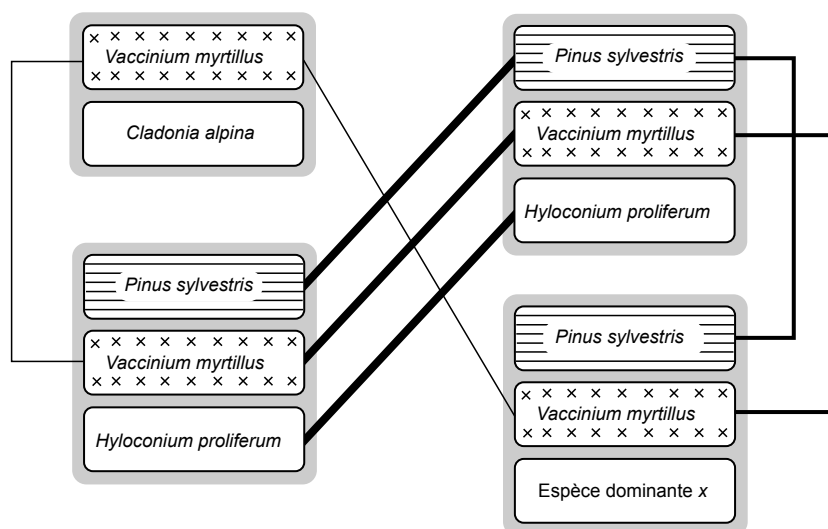


Figure 2

Organisation en réseau des différents groupements végétaux. L'épaisseur des traits exprime la proximité, fonction du nombre de strates à dominantes communes. Les groupements avec les mêmes dominantes communes dans toutes les strates (traits épais) forment le réseau de la sociation.

garant de la cohérence de leur système, une stratégie pour faire preuve qui découle des précédentes. Cette organisation de l'argumentation en excluant le milieu est fortement isolée dans le monde de l'écologie naissante, et il convient à présent d'en rechercher les origines.

Les références scientifiques de Du Rietz

L'héritage de la méthode physionomique d'Alexander von Humboldt

On a vu que le choix d'aborder la végétation par sa structure en excluant le milieu s'inscrit dans la tradition de Hult, prolongée par Sernander et Fries. Elle est elle-même dans la continuité de la géographie botanique physionomique initiée par Alexander von Humboldt en 1807. Ragnar Hult reconnaît en Humboldt l'inventeur d'une nouvelle méthode qui prend en compte la morphologie des plantes³⁵ et qui classe les végétations en fonction de ce critère. Il salue la fécondité de cette intuition³⁶. Du Rietz reprend cette innovation majeure non fondée sur les catégories systématiques classiques, en déplorant que cette nouvelle méthode de description se soit imposée lentement au début du XIX^e siècle³⁷. Pour lui, les associations d'espèces sont aussi des associations de formes, permettant de rendre compte de la diversité physionomique des formations végétales³⁸.

À contre-courant de l'écologie de son temps : l'opposition à l'adaptationnisme

Le rejet du dogme selon lequel toute forme visible s'expliquerait par l'adaptation au milieu est aussi régulièrement exprimé

35 - Alexander von Humboldt, *Essai sur la géographie des plantes, accompagné d'un tableau physique des régions équinoxiales, fondé sur des mesures exécutées, depuis le dixième degré de latitude boréale jusqu'au dixième degré de latitude australe, pendant les années 1799, 1800, 1801, 1802 et 1803, par Al. de Humboldt et A. Bonpland* (Paris : F. Schoell, 1807).

36 - Ragnar Hult, *Försök till analytisk behandling af växtformationerna* (Helsingfors : Frenckell, 1881), cité par Malcolm Nicolson, « The development of plant ecology : 1790-1960 », thèse de doctorat (Univ. of Edimburg, 1983), 62.

37 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 2, 37.

38 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 2, 44-46.

par l'Upsalien : « Pour quiconque utilise la méthode inductive de l'écologie sociologique moderne, il doit être très clair que seules les formes de vie délimitées indépendamment de toute théorie de l'adaptation peuvent être d'une quelconque utilité ³⁹. »

La mise en doute de l'explication universelle : l'adaptation au milieu

Sont ainsi considérées comme suspectes toutes les théories de l'adaptation, au premier rang desquelles le darwinisme et la sélection naturelle tels qu'ils sont formulés au début du xx^e siècle ⁴⁰ : pour Du Rietz, leur soubassement téléologique les apparente à la *Naturphilosophie* ⁴¹.

Pour les élèves de Sernander qui promeuvent la sociologie végétale, la nouvelle botanique expérimentale et darwinienne ⁴² solidement instituée dans les universités d'Upsal et de Stockholm est engluée dans cet adaptationnisme. De nouvelles questions liées aux nouvelles découvertes sont nécessaires, particulièrement celles de la génétique qui impose la vision populationnelle ; le vivant doit être considéré dans ce qu'il a de collectif. Dans le système des sciences, la sociologie végétale fait partie de la science des collectifs, par contraste avec les sciences qui traitent des individus, la physiologie, l'embryologie, etc., disciplines qui relèvent de l'idiobiologie. Cette distinction avait déjà été opérée par Rübel et Gams quelques années avant Du Rietz ⁴³.

La théorie darwinienne de l'évolution est prise pour cible dans un texte de 1930. Décrivant celle-ci comme une histoire qui tente d'expliquer la réaction des vivants aux modifications de leur milieu en vue de s'adapter, Du Rietz soutient les auteurs qui se sont opposés à cette explication téléologique, citant Johannes Paulus Lötzy (1867-1931) et John Christopher Willis (1868-1958) parmi de nombreux autres. La part du hasard et de l'hybridation oc-

39 - Gustaf Einar Du Rietz, Life-forms of terrestrial flower plants, *Acta phytogeographica suecica*, 3/1 (1931), 42-43 ; traduction de l'anglais par l'auteur.

40 - Les principes théoriques que Du Rietz attribuent à Darwin sont différents de la manière dont nous comprenons Darwin aujourd'hui, notamment son apport de la contingence dans l'histoire du vivant.

41 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 2, 33.

42 - Eugene Cittadino, *Nature as the laboratory : Darwinian plant ecology in the German Empire, 1880-1900* (New York : Cambridge Univ. Press, 2002).

43 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 2, 24-28.

cupe une large place dans ces théories alternatives⁴⁴.

Selon le phytosociologue d'Upsal, seuls les individus dont les caractéristiques présentent un net désavantage sont éliminés. Dans la majorité des situations il refuse l'explication de la sélection naturelle mais convoque de façon paradoxale l'hypothèse de la lutte pour la vie prise dans son sens littéral, celui d'un combat. Dès lors, des situations contingentes telles que l'occupation initiale du milieu, la masse des individus de l'une et l'autre espèce en lutte, sont des paramètres bien plus importants que les infimes avantages d'un génotype dans une station donnée⁴⁵. Plus généralement, Du Rietz envisage la formation des sociétés végétales comme le produit des interactions entre les individus bien plus que du milieu, une représentation éminemment sociologique dans le sens où c'est le fait social qui explique la société, et non des paramètres d'un autre ordre comme les conditions abiotiques. Cette interprétation est donc peu encline à considérer les collectifs végétaux comme résultant du « tri » des individus par le milieu.

Une convergence de vues avec un théoricien audacieux : Bunzō Hayata

Un séjour scientifique en Nouvelle-Zélande de 1926 à 1927 conduit Du Rietz à publier plusieurs études de systématique et de géographie botanique sur des taxons de cette région; il s'intéresse à la biogéographie de l'Extrême-Orient et découvre en 1929 les travaux de Bunzō Hayata (1874-1934) sur la flore de Taïwan⁴⁶. Ce professeur associé à l'université de Tokyo peu connu de ses contemporains occidentaux est très critique à l'égard de l'évolution darwinienne et défend en outre une vision réticulaire de la nature. Ceci suscite l'intérêt du botaniste upsalien pour qui la nature peut être décrite en réseau⁴⁷ aussi bien au niveau des composants de l'espèce (les biotypes, que nous appelons aujourd'hui génotypes, forment un réseau qui représente l'espèce concrète) qu'au niveau des différentes surfaces de végétation d'une même sociation⁴⁸. Du Rietz perçoit cependant

44 - Gustaf Einar Du Rietz, The fundamental units of biological taxonomy, *Svensk botanisk tidskrift*, 24/3 (1930), 399-409.

45 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 44, 399.

46 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 44, 410.

47 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 44, 413.

48 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 20, 308.

des discontinuités nettes au sein de ce réseau qu'Hayata ignore par préférence pour une complète continuité⁴⁹.

Hayata propose une théorie de la participation que Du Rietz étend à la sociologie végétale : des éléments constitutifs interchangeables circulent d'une espèce à l'autre (dans le cas des espèces, ce sont les gènes qui circulent librement⁵⁰), ou d'une sociation végétale à l'autre (ce sont alors les espèces constantes qui peuvent passer d'un groupement à l'autre), et lorsqu'un avantage en termes de dominance résulte de ce transfert, l'intégration de l'élément – gène ou espèce – sera stabilisée. Pour les deux auteurs, les transformations des espèces doivent moins à l'action déterminante du milieu qu'à leur vigueur et leur force compétitive, et selon Du Rietz il en est de même pour les sociations. Cette idée de renforcement compétitif d'une sociation ayant acquis une nouvelle espèce constante préexistait à la lecture de la théorie de la participation, puisqu'elle remonte à 1921.

Les deux auteurs puisent certainement dans un fond commun d'idées très ancien sur une nature réticulée et plus ou moins continue d'éléments qui se transforment dans plusieurs directions et non selon une série linéaire; Hayata revendique d'ailleurs explicitement sa proximité avec la théorie de Goethe sur la feuille primitive⁵¹ (tous les organes de la plante se construisent par modification de la structure à partir d'une forme fondamentale, la feuille primitive). Tous deux s'attachent particulièrement à la cohérence des structures internes et mettent au second plan les influences externes, ce que de nombreux biologistes du début du xx^e siècle sceptiques à l'égard du darwinisme ont partagé⁵². En l'absence d'écrits autobiographiques, dire qui a réellement influencé Du Rietz dans sa

49 - Différence de conception qui a également existé entre deux systématiciens de la botanique dont nous reparlerons plus loin, partisans l'un et l'autre d'une nature en réseau : Michel Adanson observait l'existence de discontinuités entre les familles; Antoine-Laurent de Jussieu était un ardent défenseur de l'absence de discontinuités naturelles (toute délimitation, bien que nécessaire à la classification, est artificielle).

50 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 44, 408-413.

51 - Bunzō Hayata, An interpretation of Goethe's Blatt in his «Metamorphose der Pflanzen», as an explanation of the principle of natural classification, in Bunzō Hayata, *Icones plantarum Formosarum nec non et contributiones ad floram formosanam*, vol. 10 (Taihoku, 1921), 75-95.

52 - En 1917 paraît l'ouvrage de D'Arcy Wentworth Thompson, *On growth and form* (Cambridge Univ. Press, 1917).

représentation de la nature peut s'avérer délicat ; en revanche, aborder la question par ses méthodes de travail permet de saisir l'originalité et une certaine unité de ses travaux.

Les mutations de la philosophie suédoise et l'induction en sciences

L'étude de la végétation et les principes de sa classification de Du Rietz ont un caractère avant tout descriptif et bien que cet auteur se livre à quelques explications, celles-ci sont hautement spéculatives. Or, cette préférence pour la description ne vient pas de ses mentors Sernander et Fries. En effet, Sernander s'est beaucoup intéressé à l'histoire de la végétation scandinave, un sujet délaissé par Du Rietz qui se détourne de l'aspect dynamique de la végétation. Fries, praticien de la méthode inductive qui a inspiré Du Rietz pour décrire la végétation indépendamment du milieu, avait envisagé dans un second temps la corrélation avec celui-ci ; il visait donc bien l'étude écologique des communautés, ou synécologie. En revanche Du Rietz se désintéresse ouvertement de la synécologie au moins pendant les années 1920⁵³.

D'un point de vue méthodologique, le botaniste d'Upsal reconnaît s'être inspiré des savants suisses de la végétation, en particulier Heinrich Brockmann-Jerosch et Paul Jaccard pour leur approche statistique et numérique⁵⁴. Mais ces références n'empêchent pas un positionnement de Du Rietz bien à part⁵⁵.

L'originalité du Suédois tient sans doute à son engagement épistémologique très fort : à la véhémence déjà évoquée contre toute forme de téléologie⁵⁶, s'ajoutent le souci de situer la phytosociologie dans le système des sciences, la mise en perspective historique – très développée – de la phytosociologie et de ses méthodes avant de présenter celles qui sont novatrices. Ces postures participent d'un même effort, quasi-militant, pour une

53 - Thomas Söderqvist, *The Ecologists : From merry naturalists to saviours of the Nation – A sociologically informed narrative survey of the ecologisation of Sweden 1895-1975* (Stockholm : Almqvist & Wiksell, 1986), 92-95.

54 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 2, 142.

55 - Sa méthode d'échantillonnage diffère totalement de celle de Jaccard, ce qui conduit à des interprétations opposées ; Roux, *op. cit.* in n. 4.

56 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 2, 32-33.

science basée sur l'induction et contre les pratiques déductives. La phytosociologie de Du Rietz ne serait-elle pas en fin de compte principalement explicable, dans sa genèse, par ce radicalisme épistémologique en faveur de l'induction? Un premier élément de contexte permet de consolider cette hypothèse.

La révolution philosophique d'Axel Hägerström et le positivisme suédois au tournant du xx^e siècle

L'école d'Upsal a construit sa méthode lors de débats entre jeunes étudiants au début des années 1920, localement nommés le « gang ⁵⁷ ». Selon Söderqvist, « un esprit de conquête les animait » afin de redonner des lettres de noblesse à l'analyse de la végétation sur le terrain, préoccupation initialement portée par Sernander et faisant l'objet de sévères attaques par les partisans de la nouvelle botanique expérimentale ⁵⁸. Cet esprit de corps autour de la doctrine inductive se prolongea au sein de « Växtbio ⁵⁹ », un groupe convivial au département de botanique dirigé par Du Rietz dans les années 1930. Du Rietz s'est rapidement posé en porte-parole du « gang ⁶⁰ » et il a rapidement acquis une notoriété internationale. Fondateur de la société phytosociologique (Växtsociologiska Sällskapet) éditrice de la revue *Svenska Växtgeografiska Sällskapetets handlingar* devenue en 1929 *Acta phytogeografica suecica*, Du Rietz organisa l'excursion internationale de phytogéographie en 1925. Chargé de cours, il recruta alors de nombreux étudiants et devint professeur titulaire en 1934 de l'une des trois chaires de botanique de l'université d'Upsal ⁶¹.

Cette très ancienne université fut le siège, au tournant du xx^e siècle, d'une ébullition intellectuelle que l'on peut rapprocher par certains points du positivisme ⁶²; menée par Axel Hägerström (1868-1939), professeur de philosophie de 1893 à

57 - composé de G. E. Du Rietz, T. C. Fries, T. Å. Tengwall, auteurs cités en n. 9, et H. Osvald. Rapporté par Söderqvist, *op. cit.* in n. 53, 94.

58 - Söderqvist, *op. cit.* in n. 53, 91.

59 - Söderqvist, *op. cit.* in n. 53, 146.

60 - Söderqvist, *op. cit.* in n. 53, 90-91.

61 - Söderqvist, *op. cit.* in n. 53, 90.

62 - Agnieszka Proszewska, Axel Hägerström, Uppsala school, and the rise of Swedish analytical philosophy, *Zeszyty naukowe Towarzystwa Doktorantów Uniwersytetu Jagiellońskiego : Nauki Humanistyczne*, 23 (2018), 121-132.

1933, la révolution que porte celui-ci avait pour « cri de guerre » la « destruction de la métaphysique »⁶³.

Connu principalement pour sa philosophie du droit, Hägerström a également écrit sur l'épistémologie des sciences. Dans *Das Princip der Wissenschaft* (1908) et *Botanisten och filosofen* (1910), il défend une théorie de la connaissance où les concepts doivent être fondés uniquement sur le concret observable, en éliminant toute influence d'idées métaphysiques parfaitement subjectives et qui selon lui ne peuvent faire l'objet d'aucun traitement logique. Cependant, Hägerström refuse l'empirisme pur⁶⁴ et il plaide pour des idées construites à partir d'une base exclusivement empirique.

Dans *Botanisten och filosofen*, Hägerström défend la réalité des concepts. Ernst Cassirer explique que dans ce dialogue entre un botaniste et un philosophe⁶⁵, ce dernier tente⁶⁶ de « faire adopter par le botaniste, qui se présente comme un nominaliste incorrigible, le regard qui lui permettra de voir non seulement le particulier mais l'universel : il lui explique qu'une réalité objective ne revient pas du tout exclusivement aux bouleaux isolés, mais aussi au « bouleau universel » ». C'est bien la position que défend Du Rietz : l'espèce est une réalité concrète, et non un concept abstrait de groupe comme le défendent les systématiciens nominalistes.

L'opposition au nominalisme, ainsi que son rejet de l'explication causale à partir de théories volontiers qualifiées de « métaphysiques », nous paraissent entrer en résonance avec la position de Du Rietz très originale, voire isolée, au sein de la phytosociologie.

63 - Stig Strömholm, La philosophie du droit scandinave, *Revue internationale de droit comparé*, 32/1 (1980), 8.

64 - Pierre Brunet, Le « positivisme » français dans la lumière du Nord : Le réalisme juridique scandinave et la doctrine française, *Revus*, 24 (2014), 189.

65 - Ernst Cassirer, *Éloge de la métaphysique – Axel Hägerström – Une étude sur la philosophie suédoise contemporaine*, trad. Jean Carro (Paris : Les Éditions du Cerf, 1996).

66 - Cassirer, *op. cit.* in n. 65, 79.

La phytosociologie upsalienne : déclinaison logique d'un inductivisme radical ?

Le mot « induction » a pu avoir des significations assez différentes dans l'histoire des sciences, d'où la nécessité d'en préciser les contours. Dans son livre *Histoire des démarches scientifiques*⁶⁷, Jean-Yves Cariou opère une distinction entre l'induction pour établir des lois descriptives et l'induction qui amène à des hypothèses sur les causes⁶⁸. Humboldt qui transporte les appareils de mesure les plus modernes dans chacun de ses voyages et qui enregistre une quantité colossale de paramètres physiques en vue de les lier entre eux est un praticien typique de la première forme⁶⁹.

Il n'est donc guère étonnant que Du Rietz, dans ses rappels historiques, valorise l'apport de Humboldt pour sa méthode. Pourtant nous avons vu qu'avec sa conception de la lutte pour la vie ou la théorie de la participation d'Hayata, il se livre aussi à des conjectures audacieuses pour ne pas dire spéculatives. On peut y ajouter celles formulées à propos des associations d'espèces : l'idée que le noyau de constantes pourrait s'expliquer par l'espèce dominante favorisant la croissance des espèces constantes ; l'idée qu'une espèce nouvelle dans une sociation se maintient si sa présence apporte un avantage à la sociation en termes de compétition par rapport aux autres sociations ; ou encore, que la variabilité de composition d'une association est le résultat de sa plasticité écologique, etc. Du Rietz voit ces conjectures comme plausibles et utiles à la compréhension, il accepte leur caractère incertain, mais à aucun moment il ne fait de leur vérification l'enjeu de sa recherche. Pour lui, l'important se situe ailleurs, dans la mise au jour de relations régulières entre des paramètres, avec une dimension chiffrée : à telle espèce (dominante) sont associées telles espèces (les constantes) systématiquement présentes avec une constance d'au moins 90 %. Au sujet des espèces

67 - Jean-Yves Cariou, *Histoire des démarches scientifiques* (Paris : Éditions Matériologiques, 2019), 345-574.

68 - Cariou, *op. cit.* in n. 67, 539.

69 - Michael Dettelbach, Alexander von Humboldt, between Enlightenment and Romanticism, *Northeastern naturalist*, numéro spécial 1 (2001), 12-14. Zachary Watts, « Alexander von Humboldt and Adolf Bastian : Genealogical ruptures between natural and human sciences in nineteenth century Germany », mémoire (Georgia State Univ., 2013), 39-70.

non constantes dont la proportion semble aléatoire, Du Rietz est convaincu que la poursuite de l'accumulation de données finira par produire des relations numériques stables ayant valeur de lois⁷⁰. Ce repli vers la description sans explication, « cette hostilité au dogme de la causalité⁷¹ » ont bien été relevés par Jules Pavillard, fin observateur contemporain de ces controverses phytosociologiques⁷².

Pour Du Rietz cependant le seul fait que la loi de constance et la loi de l'aire minimale existent, constitue en soi une preuve forte de la valeur heuristique de son approche. Cumuler le maximum d'observations pour faire émerger ces lois devient le souci essentiel, et cela rattache cette pratique à la première visée de l'induction que nous avons envisagée : l'établissement de lois descriptives, c'est-à-dire de rapports réguliers et constants entre des paramètres sur la base des seules données empiriques, sans convoquer de théorie ni faire une science des causes.

L'induction dans les sciences connexes de la phytosociologie

L'hypothèse d'un système phytosociologique surdéterminé par le choix de l'induction radicale et impliquant par effet logique les autres outils doit maintenant être mise à l'épreuve. Le principe en est le suivant : s'il est vrai qu'à partir du choix d'un inductivisme maximal, la cohérence du raisonnement suffit à produire les caractéristiques du système upsalien, alors un positionnement initial similaire dans des disciplines proches devrait aboutir à des représentations analogues. Nous devons donc sortir de la phytosociologie pour l'exploration de disciplines proches afin de savoir si l'on peut y déceler, éventuellement, des représentations homologues à celles de Du Rietz.

70 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 2, 189.

71 - Jules Pavillard, *Statistique et phytosociologie* (Montpellier : impr. Roumégous et Déhan, 1923), 26.

72 - Jules Pavillard, *Cinq ans de phytosociologie* (Montpellier : impr. Roumégous et Déhan, 1922), 10.

**Qu'entend-on par
« sciences connexes de la phytosociologie » ?**

La surface de végétation est l'élément-partie d'un groupement végétal plus vaste qui l'englobe (la sociation), dans un rapport analogue à celui l'individu vis à vis de l'espèce. Cette pratique vaut autant pour Braun-Blanquet que pour Du Rietz mais repose sur des conceptions différentes de l'espèce⁷³. Le traitement des surfaces végétales peut donc s'apparenter à une classification botanique au sens classique, c'est-à-dire comme le rangement d'individus en espèces.

La première science avec laquelle nous tenterons de comparer la phytosociologie sera donc la classification botanique. Il conviendra de dire si la position inductive maximaliste de certains taxinomistes du monde végétal a pu engendrer des méthodes et des spécificités conceptuelles similaires à celles de la phytosociologie upsalienne, en vertu d'un même enchaînement logique.

Nous soutiendrons en second lieu, que l'anthropologie peut aussi être considérée comme une science connexe de la phytosociologie upsalienne. Du Rietz affirme en effet que les surfaces végétales d'une même sociation peuvent se comparer aux populations isolées d'un même peuple, au moins à quatre reprises dans ses textes écrits en allemand⁷⁴. Ce propos n'est guère étonnant si l'on admet avec Laurent Mucchielli qu'au XIX^e s. « l'anthropologiste est un botaniste ou un zoologue qui s'intéresse aux groupes humains⁷⁵ ». La préoccupation rejoint donc celle des phytosociologues, avec en commun la difficulté de classer des unités très hétérogènes dans leur composition. Certains anthropologues comme Friedrich Ratzel ou Adolf Bastian doivent à la biogéographie une part importante de leur parcours intellectuel.

73 - Du Rietz, *op. cit.* in n. 20. Si Du Rietz assume parfaitement l'analogie espèce-sociation, il refuse de considérer la surface végétale comme un « individu », contrairement à Braun-Blanquet. Voir Roux, *op. cit.* in n. 4, 62, 223.

74 - Roux, *op. cit.* in n. 4, 311-313.

75 - Laurent Mucchielli, *La découverte du social : Naissance de la sociologie en France* (Paris : La Découverte, 1998), 33.

Système vs méthode : un clivage majeur au sein de la classification botanique

Dans l'histoire des méthodes de la classification botanique il peut être utile de considérer deux types idéaux entre lesquels se sont positionnés les grands noms de l'évolution de cette discipline : le « système » et la « méthode naturelle ». Cette dernière pose comme principe l'observation sans théorie préalable et peut donc être qualifiée d'entièrement inductive.

Il s'agit de définir des groupes naturels par leurs évidentes similitudes à l'aide de tous les caractères sans exception, auxquels on accorde la même importance. Bauhin (1560-1624), Magnol (1638-1715) et Ray (1627-1705) comptent au nombre des premiers botanistes à avoir adopté ce principe pour décrire les familles botaniques⁷⁶. Michel Adanson (1727-1806) l'a approfondi et ses travaux ont été prolongés par Antoine-Laurent de Jussieu (1748-1836). Tous ces botanistes revendiquent l'idée que les ressemblances générales immédiatement perçues par l'observateur sont les premiers critères de rapprochement :

Dans une méthode naturelle, ces caractères tant classiques que génériques et spécifiques, doivent être pris de toutes les parties quelconques, plus ou moins sensibles, de la plante. De là naissent ces caractères que j'appelle caractères de l'ensemble et qui reviennent assez à ce que les Anciens appelaient le Port de la plante⁷⁷.

Dans la méthode naturelle aucune théorie préalable ne dit quels caractères sont importants; tous, *a priori*, le sont et le tri se fera ensuite. Les regroupements ainsi opérés conduisent à des familles bien distinctes. Adanson en trouvera 58, et Jussieu, qui travaille sur un matériel plus abondant, portera ce nombre à 100⁷⁸.

La famille est ensuite caractérisée par un noyau de descripteurs constants; c'est ce qu'Adanson appelle « fixer les caractères

76 - Réjane Bernier, *Système et méthode en taxonomie : Adanson, A.-L. de Jussieu et A.-P. de Candolle, Le Naturaliste canadien : Revue d'écologie et de systématique*, 111/1 (1984), 6.

77 - Michel Adanson, *Familles des plantes* (1763), cité par Michel Guédès, *La méthode taxonomique d'Adanson, Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 20/4 (1967), 373.

78 - Bernier, *op. cit.* in n. 76, 10.

naturels des plantes⁷⁹ ». Antoine-Laurent de Jussieu prendra soin d'étudier dans chaque famille le degré de variabilité des différents caractères : les caractères primaires (par exemple le nombre de lobes et la position des étamines par rapport au gynécée) sont en général bien fixés, les caractères secondaires sont plus variables (présence d'un calice ou d'une corolle par exemple, présence de périsperme dans la graine), et les caractères tertiaires très variables⁸⁰. Cette analyse scrupuleuse des différents degrés de variabilité, pour définir les bons critères de classification propres à chaque groupe, fait également l'objet chez Du Rietz d'une attention particulière ; elle est intégrée dans sa méthode de délimitation et de description, tant des espèces que des sociations⁸¹. Elle est l'indice d'une démarche inductive : la constitution des groupes est guidée par les données de l'observation sans *a priori*, et c'est après ce regroupement que les caractères significatifs sont énoncés⁸².

Adanson n'a pas cherché les liens entre les familles mais son continuateur Jussieu a été particulièrement attentif à cette tâche. Observant que certains des caractères constants d'une famille peuvent se retrouver dans une autre famille, il a pu tracer des liens non hiérarchisés tantôt en direction d'une famille partageant une série de caractères, tantôt en direction d'une autre famille en raison d'autres caractères⁸³.

On retrouve ici l'idée de réseau de la nature déjà évoquée à propos de Du Rietz et Hayata, pour les mêmes raisons logiques, car la nature comme un réseau résulte du fait que les groupes n'ont pas été constitués grâce à des critères exclusifs, mais avec un ensemble de critères qui se chevauchent⁸⁴, résultat de leur définition *a posteriori* ; si au contraire le partage est établi à l'aide de critères choisis *a priori* pour constituer des groupes

79 - Guédès, *op. cit.* in n. 77, 373-374.

80 - Bernier, *op. cit.* in n. 76, 8.

81 - Roux, *op. cit.* in n. 4, 226-228.

82 - Le degré de variabilité des caractères constants fera l'objet également d'un examen très attentif (un ouvrage de 520 pages !) par Adolf Bastian. Voir plus loin.

83 - Peter F. Stevens, Antoine-Laurent de Jussieu et le système naturel : Comment subdiviser une nature sans articulations, in C. Blanckaert *et al.* (dir.), *Le Muséum au premier siècle de son histoire* (Paris : Muséum national d'histoire naturelle, 1997), 241-262.

84 - Problème qualifié de « chevauchement des spécialisations » ; voir Olivier Rieppel, *The series, the network and the tree : Changing metaphors of order in nature, Biology & philosophy*, 25 (2010), 481-483.

disjoints, selon un choix dichotomique, il s'ensuit une représentation en arbre. Ces deux visions se sont opposées pendant plusieurs siècles dans l'histoire de la systématique⁸⁵.

Contrairement à ce qui a pu être avancé, il n'y a pas eu chez Adanson de traitement statistique pour déterminer quels caractères seraient les plus constants, ni pour déterminer quantitativement le lien de ressemblance entre les espèces d'une même famille⁸⁶. La notion d'« affinités » évoque bien une idée de distance, mais elle est envisagée de façon intuitive. Il est vrai que les continuateurs de ce mode de classification ont progressivement cherché à formaliser mathématiquement cette idée de distance, en faisant usage d'outils statistiques pour établir que les membres d'un groupe systématique soient plus proches entre eux qu'ils ne le sont de ceux appartenant aux autres groupes⁸⁷, ce qui quantifie l'affinité par le calcul d'une distance entre espèces dans un espace multidimensionnel. Il faut donc retenir que, même si Adanson n'a effectué aucun raisonnement statistique, sa méthode s'est particulièrement bien prêtée aux traitements numériques permettant de réaliser des groupes naturels prenant en compte tous les caractères en minimisant les écarts, grâce à des algorithmes⁸⁸.

Particularismes des peuples vs théories généralisantes

L'opposition à une classification hiérarchique des humains basée sur des théories généralisantes a également conduit à des innovations méthodologiques en anthropologie. Un courant ethno-anthropologique libéral et humaniste se structure au XIX^e siècle, notamment à Berlin⁸⁹, renonçant à une théorie de l'humanité en général qui ferait de l'évolutionnisme anthropologique la clé de compréhension de la supériorité raciale. Étudier les particularités de chaque peuple – coutumes, systèmes de pensée, technologies, religions, droit, etc. – en les articulant pour en restituer

85 - Rieppel, *op. cit.* in n. 84, 491-492.

86 - Guédès, *op. cit.* in n. 77, 365-366.

87 - Guédès, *op. cit.* in n. 77, 366-367.

88 - Bernier, *op. cit.* in n. 76, 7. La référence de ces taxonomistes modernes à la « méthode adansonienne » n'est pas fautive à condition de faire reposer cette filiation seulement sur la prise en compte de tous les caractères descriptifs.

89 - Céline Trautmann-Waller, La psychologie des peuples de Heymann Steinthal et Moritz Lazarus, *Revue d'histoire des sciences humaines*, 19/2 (2008), 198.

la cohérence⁹⁰ et enrichir par ce biais notre conception de l'humain⁹¹, c'est ce que propose la psychologie des peuples (*Völkerpsychologie*) de Moritz Lazarus et Heymann Steinthal⁹². Cette façon de penser toute société comme un ensemble complexe organisé préfigure la naissance de la sociologie en reconnaissant aux peuples dits « primitifs » une grande complexité d'organisation en transformation permanente.

Pour saisir de façon plus précise le déroulement du raisonnement des anthropologues qui se réclament des faits contre les théories, pour une science débarrassée de tout préjugé, nous prendrons l'exemple d'un ethnologue qui, s'il ne peut pas être classé formellement dans la psychologie des peuples, en a été très proche⁹³. Adolf Bastian (1826-1905), médecin devenu ethnologue, est l'un des personnages clés de l'émergence de l'anthropologie allemande. Peu connu aujourd'hui, il était une référence pour ses contemporains : fondateur avec Hartmann et Virchow de plusieurs sociétés d'anthropologie, d'ethnologie et de préhistoire (berlinoise, allemande, viennoise), il fut également directeur du musée d'ethnologie de Berlin à partir de 1886. Son œuvre est impressionnante, plus de 80 ouvrages chacun comptant plusieurs volumes, plus de 230 essais et plus de 280 comptes rendus⁹⁴. De grands noms des sciences de l'homme et de la société, Franz Boas ou Georg Simmel, furent élèves de Bastian.

À la recherche des lois de la psychologie des peuples, par l'induction

La science que pratique Adolf Bastian dans le dernier tiers du XIX^e siècle peut être rapprochée de l'esprit scientifique des

90 - Trautmann-Waller, *op. cit.* in n. 89, 198.

91 - Paola Giacomoni, Wilhelm Humboldt et l'anthropologie comparée, *Revue germanique internationale*, 10 (2009), 51.

92 - Céline Trautmann-Waller, La *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft* (1859-1890) : entre *Völkgeist* et *Gesamtgeist*, in Céline Trautmann-Waller (dir.), *Quand Berlin pensait les peuples : Anthropologie, ethnologie, psychologie (1850-1890)* (Paris : CNRS éditions, 2004), 105-120.

93 - Céline Trautmann-Waller, L'ethnologie d'Adolf Bastian entre mélancolie de la déperdition, comparatisme débridé et universalité inductive, *Revue germanique internationale*, 21 (2004), 198.

94 - Annemarie Fiedermutz-Laun, Adolf Bastian, Robert Hartmann et Rudolf Virchow : Médecins et fondateurs de l'ethnologie et de l'anthropologie allemandes, in Céline Trautmann-Waller (dir.), *Quand Berlin pensait les peuples : Anthropologie, ethnologie, psychologie (1850-1890)* (Paris : CNRS éditions, 2004), 61-64.

Lumières par son matérialisme – la science de l'homme doit être calquée sur les lois de la nature –, sa volonté de trouver des lois mathématiques organisant le psychisme des peuples, sorte d'approche newtonienne de l'esprit humain « dont les pensées élémentaires sont des éléments chimiques et des atomes physiques⁹⁵ ». Mais cette recherche de lois générales dans les pensées des peuples intègre aussi les spécificités de chaque groupe humain, en raison même de l'analogie naturaliste avec l'organisme en construction : si les lois du développement d'un peuple sont les mêmes en tout point de la Terre, l'histoire et les circonstances n'en impriment pas moins un trajet propre à chaque peuple dans son accès à la civilisation. Ainsi est établi le lien entre l'universel et le particulier⁹⁶. Comme les newtoniens du XVIII^e siècle et comme ses contemporains positivistes, Bastian déclare que « l'induction est la seule possibilité qui nous soit donnée, fondée en premier lieu sur la comparaison comme méthode de base⁹⁷ ». La comparaison doit être dépourvue de cadre interprétatif *a priori* : il faut se contenter de « connaître ces lois que la vie met en œuvre, sans pour autant être empêtré dans le problème de l'origine des causes, selon les perspectives confuses et déroutantes du commencement⁹⁸ », thème également cher aux positivistes. Toute forme d'évolutionnisme dogmatique ou de préjugé préalable à l'interprétation est donc vigoureusement combattue.

Le rejet de la méthode déductive alimente une vigoureuse polémique avec Ernst Haeckel⁹⁹. C'est aussi un point de crispation avec la psychologie des peuples, dont la méthodologie trop philosophique, donc déductive, ne convient guère à Bastian qui accorde une grande importance au terrain¹⁰⁰. Bien qu'il ait recours la plupart du temps à des informateurs, il se déplace sur les lieux de ses études, il observe par lui-même un certain nombre de pratiques, et il recueille des objets qu'il entreprend d'exposer dans le musée ethnologique de Berlin. Il a parcouru les cinq continents, effectué neuf voyages dont certains ont duré plusieurs années.

95 - Fiedermutz-Laun, *op. cit.* in n. 94, 68.

96 - Trautmann-Waller, *op. cit.* in n. 93, 199-200.

97 - Adolf Bastian, *Zur Lehre von den geographischen Provinzen* (Berlin : Ernst Siegfried Mittler & Sohn, 1886), 68.

98 - Bastian, *op. cit.* in n. 97, 68.

99 - Fiedermutz-Laun, *op. cit.* in n. 94, 70.

100 - Fiedermutz-Laun, *op. cit.* in n. 94, p. 68, n. 15.

Comme Alexander von Humboldt, Bastian a arpenté le globe; à l'instar du naturaliste polymathe, il veut produire une théorie qui intègre toutes les régions du monde.

Les constantes et la structure psychologique d'un peuple

Pour cet ambitieux programme, une cartographie des pensées des peuples s'impose¹⁰¹ mais le nécessaire découpage ethnique sur lequel repose cette entreprise est perçu comme un point délicat¹⁰². Les unités de populations sont envisagées comme emboîtées à des niveaux hiérarchiques différents¹⁰³, avec comme unité la plus vaste la « province géographique » issue des provinces botaniques de Humboldt¹⁰⁴.

Bastian recherche ensuite l'existence de caractères constants dans chaque peuple afin de légitimer ce découpage. L'exemple de son raisonnement pour le peuple de la Polynésie a bien été étudié par Céline Trautmann-Waller¹⁰⁵ : la nuit originelle (le *Po*) qui marque le début de toutes les cosmogonies polynésiennes, l'idée d'un affrontement des hommes avec les dieux, la possibilité d'un défi de l'humain et de son éventuelle victoire sur les divinités, semblent bien caractériser autant les Maoris, les Hawaïens que les Mélanésien¹⁰⁶. Cette homogénéité est essentielle pour reconstituer les pensées collectives à partir de ce qu'il nomme « les pensées élémentaires »; ce n'est que dans une culture suffisamment homogène qu'il pourra définir un homme social moyen¹⁰⁷, support théorique nécessaire pour ses calculs de pensées élémentaires¹⁰⁸.

101 - Trautmann-Waller, *op. cit.* in n. 93, 205.

102 - Adolf Bastian, *Das Beständige in der Menschenrassen und die Spielweite ihrer Veränderlichkeit* (Berlin : Dietrich Reimer, 1868), 269.

103 - Cet emboîtement géographique n'implique nullement une classification emboîtée des peuples sur la base de leurs caractères; comme il sera expliqué plus loin, Bastian décrit et organise la diversité culturelle des peuples sur le modèle du réseau et non sur celui de l'arbre hiérarchisé.

104 - Bastian, *op. cit.* in n. 102, 269. Pour une analyse détaillée du problème du découpage, voir Roux, *op. cit.* in n. 4, 385-389.

105 - Trautmann-Waller, *op. cit.* in n. 93, 206-209.

106 - Chez Bastian, la mythologie est un support extrêmement important pour l'analyse culturelle et la mise au jour des pensées élémentaires.

107 - Cité par Klaus-Peter Köpping, *Adolf Bastian and the psychic unity of mankind : The foundations of anthropology in nineteenth century Germany* (Münster : Lit, 2005), 170.

108 - Fiedermutz-Laun, *op. cit.* in n. 94, 70.

Le primat de l'induction dans la phytosociologie upsalienne

La détermination des traits constants à chaque peuple se fait *a posteriori*, après avoir posé les contours de ce dernier. La marge de variabilité des caractères considérés comme les plus constants est une préoccupation majeure pour Bastian qui fait l'objet d'une réflexion de plus de 500 pages : « Les constantes dans les races humaines et leur marge de variabilité¹⁰⁹ ». Ce souci est partagé par les « méthodistes » en systématique¹¹⁰ et par Du Rietz cherchant à classer ses sociations¹¹¹. Bastian prétend aboutir à « un système naturel » qui évite ainsi le caractère artificiel de certaines typologies, thématique abordée dans l'article sur « Le système naturel en ethnologie¹¹² ». Les caractères constants pris un à un ne sont pas exclusifs et permettent donc d'établir des liens dans toutes les directions. Ce point est sans doute un de ceux auxquels Bastian a le plus tenu.

L'analogie méthodologique avec les méthodes taxonomiques – qui veulent donner un ordre à la nature sans accorder plus d'importance à tel caractère plutôt qu'à tel autre dans la comparaison – est parfaitement assumée par Bastian, pour qui « les lettres, la philosophie, les sciences et les beaux-arts sont aux peuples, ce que les fleurs et les fruits sont aux plantes¹¹³ ».

Le réseau géographique des pensées

En considérant que toutes les ressemblances ont la même valeur, donc que tout trait partagé par deux peuples est porteur de signification, Bastian rapproche par exemple les Polynésiens, les Aztèques, la Grèce antique et les Védas, car il perçoit dans leurs récits d'origine l'existence d'une nuit originelle¹¹⁴. Les vives critiques n'ont pas manqué sur ce « comparatisme débridé » qui utilise des analogies superficielles entre peuples, non ancrées dans une histoire commune et de ce fait non comparables. Franz Boas dénonce cette erreur méthodologique dans un article célèbre¹¹⁵,

109 - Bastian, *op. cit.* in n. 102.

110 - Voir n. 80.

111 - Voir n. 20.

112 - Adolf Bastian, Das natürliche System in der Ethnologie, *Zeitschrift für der Ethnologie*, 1 (1869), 1-23.

113 - Bastian, *op. cit.* in n. 97, 46.

114 - Trautmann-Waller, *op. cit.* in n. 93, 207.

115 - Franz Boas, The limitations of the comparative method of anthropology, *Science*, nouvelle série, vol. 4, n° 103 (1896), 901-908.

souvent cité car il illustre un clivage entre deux façons de tirer parti de ressemblances observées : à la position affirmant que la comparaison n'est valable que s'il y a eu des mécanismes communs de formation, s'oppose celle qui attribue un sens à toute ressemblance. Pour les premiers seule la comparaison des homologues est légitime¹¹⁶, pour les seconds il faut tirer parti de toute analogie.

Nous avons précédemment décrit ce type de désaccord théorique en sciences de la végétation où l'utilisation des dominantes communes comme critère de groupement végétal est rejetée au motif que ces dominantes communes sont établies dans des milieux très différents et qu'un groupement végétal doit, par définition préalable, être caractéristique d'un milieu donné.

La position comparable de Du Rietz et Bastian sur ce point exprime non seulement leur accord sur la primauté de l'induction et du visible (même point de départ méthodologique) mais elle traduit également une similitude de représentations : la structure visible résulte d'une auto-organisation avec des lois uniformes. Il en résulte qu'une même structure visible constatée à deux endroits (sociation structurée par une espèce dominante / psychologie d'un peuple sous l'influence des mêmes pensées) est le produit d'une même mécanique de développement. L'histoire ou une causalité externe sont superflues pour l'explication, et introduisent de surcroît des hypothèses incertaines.

La combinatoire des pensées

Pour l'anthropologue berlinois cette auto-organisation des pensées collectives à partir des pensées élémentaires (que l'ethnologue doit révéler comme le chimiste qui découvre les éléments simples à partir des corps composés) est comparable au développement d'un organisme. Les mêmes pensées élé-

116 - Boas insiste sur l'erreur essentielle de Bastian : considérer que des effets similaires ont obligatoirement la même cause. Il n'est pas possible comme le fait Bastian d'occulter la question de l'origine des traits culturels, car un même trait constaté chez plusieurs peuples peut avoir (et a bien souvent) des explications tout à fait différentes. Dédire de l'analogie observée un mécanisme universel de formation des pensées collectives ne peut se faire que si l'on suppose *a priori* que c'est un seul et même mécanisme qui régit une même structure observée dans une civilisation. Ce qui revient donc à supposer ce que l'on veut démontrer.

mentaires dans toutes les civilisations se développent selon un mécanisme propre à chaque peuple, « l'entéléchie ¹¹⁷ ». Adolf Bastian décèle dans « les peuples de nature » les mêmes constituants élémentaires que dans « les peuples de cultures », mais ceux-ci sont plus aisés à observer chez les peuples à l'organisation plus simple, de la même façon, dit-il, que les cryptogames sont des modèles d'organisation du végétal ayant servi à la compréhension des plantes plus complexes ¹¹⁸.

Mode d'administration de la preuve par la statistique

En affirmant que seuls les faits comptent, Bastian se retrouve contraint de mettre en relation les données collectées sur la base d'un système de relations entièrement interne : trouver des lois régulières est, pense-t-il, la force de la démonstration. À cet effet, il se lance dans un projet de statistique des pensées élémentaires (*Gedankenstatistik*) visant à retrouver par le calcul et l'abstraction ces pensées élémentaires communes à toute l'humanité. On ignore presque tout de la configuration qu'auraient pu avoir ces lois car ce projet démesuré n'a jamais vu le jour, et Bastian comprend vite qu'il est hors de portée de son vivant. Pour le futur de l'ethnologie, il importe néanmoins d'accumuler autant de données que possible. Ses écrits pléthoriques, ses collectes tous azimuts pour le musée ethnologique de Berlin, son angoisse de voir disparaître des peuples témoins où certaines pensées élémentaires seraient facilement accessibles, participent de cette frénésie de l'accumulation ¹¹⁹ qui vise sans doute à se protéger des accusations de non-scientificité.

Pour faire preuve Bastian utilise donc des outils très proches de ceux mobilisés plus tard par Du Rietz en phytosociologie. Les deux auteurs citent d'ailleurs la même figure d'Alexander von Humboldt pour l'importance que celui-ci attachait aux faits en science contre les idées reçues. Même si leurs emprunts au géographe allemand peuvent être très différents, ils perçoivent comme lui le monde en réseau et se livrent à des analogies de représentations entre les humains et les plantes rendant mutuellement intelligibles les répartitions des sociétés et des espèces.

117 - Köpping, *op. cit.* in n. 107, 49-51.

118 - Köpping, *op. cit.* in n. 107, 48-49.

119 - Trautmann-Waller, *op. cit.* in n. 93, 201-202.

Le traitement méthodologique comparé de la phytosociologie, de la systématique botanique et de l'anthropologie fait ainsi émerger des objets ayant des propriétés communes : communautés d'espèces végétales, populations d'individus, humains ou végétaux, sont des collectifs hétérogènes que l'on peut organiser d'une même façon à partir de la même déclinaison méthodologique essentiellement descriptive dérivée d'un inductivisme poussé : délimitation d'unités naturelles par les traits saillants observables, légitimation par un noyau d'éléments constants, cohérence interne de leur structure, combinatoire des composants et organisation réticulée.

Conclusion

En adoptant une posture anti-adaptationniste et le refus de toute théorie préalable à l'interprétation de ses observations, Du Rietz a rejeté l'écologie de son époque qui mettait au cœur de l'explication les relations plante-milieu. Il a interprété ses relevés floristiques en s'appuyant seulement sur les données visibles de structure; conséquence de cette induction dans sa forme la plus rigoureuse, les possibilités de vérification des hypothèses s'en sont trouvées limitées. C'est par le constat d'une structure et par l'ordonnancement logique des communautés végétales que Du Rietz a cherché à justifier sa vision des types de végétation fondée sur l'importance des espèces dominantes et constantes. La même confiance dans l'induction et le rejet des théories de l'évolutionnisme sociologique ont imposé à Adolf Bastian des contraintes similaires; l'anthropologue allemand a cherché à décrire les pensées des peuples par ses éléments dominants, ainsi que leurs connexions d'un continent à l'autre et à travers le temps. Avec pour visée ultime : établir l'unité psychique de l'humanité et valider sa théorie des pensées élémentaires. Pour l'un et l'autre, les principes de méthode et de classification ont été les mêmes que ceux des botanistes ayant rejeté les règles arbitraires de la classification par système, avec pour résultat une représentation unifiée en réseau des taxons.

Tous les auteurs étudiés ici se sont appuyés sur l'heuristique des classifications avec l'illusion que celle-ci pouvait être démonstrative. Ce reproche fait à la phytosociologie s'est accentué au cours

du xx^e siècle, la science des associations végétales ayant été parfois méprisée pour son caractère trop descriptif et insuffisamment expérimental. Parallèlement, les grandes classifications sociologiques furent aussi critiquées pour leur esprit de système beaucoup trop réducteur. Mais dans un mouvement paradoxal de la pensée, les partisans radicaux des faits et de la description furent à l'origine d'hypothèses audacieuses et peu vérifiées. Et de façon étonnante, celles-ci ont eu une certaine résonance.

C'est ainsi que l'expérimentateur en écologie et biomathématicien Friedrich Gause – dont la postérité fut bien plus grande que celle de Du Rietz – a validé sur des communautés de protozoaires un certain nombre de spéculations théoriques de l'école d'Upsal¹²⁰. On reconnaît aujourd'hui que les chemins de l'évolution et le succès écologique doivent souvent beaucoup plus à la chance ou à des opportunités, mettant bien souvent en défaut la théorie du mieux adapté¹²¹. Le réseau des mythologies de Levi-Strauss a, dans sa conception, beaucoup à voir avec le réseau des pensées des peuples de Bastian¹²². Et en systématique l'arbre de la vie laisse de plus en plus la place à un réseau des espèces¹²³.

La pratique de l'induction a donc conduit à des conjectures fécondes mais n'a nullement avancé ni avec Bastian ni avec Du Rietz vers un discours démonstratif; la nécessaire prudence prônée par les théoriciens anglais du xix^e siècle à l'égard du *hypotheses fingo* n'a guère été suivie¹²⁴. Si séduisantes soient-elles, ces hypothèses sur le monde, qui se voulaient débarrassés de toute théorie *a priori*, furent imprégnées, en raison même du principe de l'induction pure qui les a engendrées, d'un choix épistémologique initial ayant configuré en profondeur la vision du monde de leurs auteurs, sans doute à leur insu.

120 - Georgy Frantsevitch Gause, The principles of biocoenology, *The Quarterly review of biology*, 11/3 (1936), 320-336.

121 - Daniel Milo, *La Survie des médiocres* (Paris : Gallimard, 2024).

122 - Trautmann-Waller, *op. cit.* in n. 93, 198; Köpping, *op. cit.* in n. 107, 147.

123 - Hervé Le Guyader, L'arbre du vivant cachait une forêt, *Pour la science*, 469 (2016), 26-30.

124 - Cariou, *op. cit.* in n. 67, 516.



Wissenschaft keine reine Verstandessache

Ernst Mach et le Cercle de Vienne

Corto Santantonio *

Résumé : Le présent article s'attache à réévaluer la philosophie de la recherche scientifique de Mach. Nous faisons l'hypothèse que ses aspects les plus novateurs et les plus stimulants ont été mal compris, si ce n'est complètement obliérés, par la tendance lourde chez les membres du Cercle de Vienne eux-mêmes – mais aussi chez leurs commentateurs – à faire du physicien autrichien un critique du langage. Nous prétendons, à l'inverse, que le langage – et, en particulier, les langages formels de la logique et des mathématiques – n'occupe chez ce dernier qu'une place *secondaire*, ce qui ne veut naturellement pas dire *accessoire*. Ainsi, nous cherchons à creuser l'écart entre le soi-disant « positivisme » de Mach et le néopositivisme viennois. Le premier n'« anticipe » pas le second. S'ils procèdent d'un même esprit, celui-ci s'incarne néanmoins dans des programmes bien différents. Même sur le chapitre de l'anti-métaphysique leurs positions divergent, celle de Mach étant beaucoup moins dogmatique qu'on l'a souvent prétendu. Lorsqu'on la fait, la science ne se présente pas comme un système d'énoncés en attente de « vérification », de « réduction » ou, plus généralement, de « formalisation ». Les « schémas » logiques de l'induction et de la déduction n'apportent aucune nouvelle connaissance. Cette dernière se situe ailleurs : dans les processus psychobiologiques mis en œuvre par les êtres vivants – les *Denkhandlungen* parfois très abstraites du chercheur prolongent les *Tätigkeiten* souvent très concrètes des animaux – et dans les méthodes qu'ils emploient afin de déjouer l'accident (*Zufall*) et de parvenir au résultat escompté. Puisqu'il n'est pas question de reconstruire rationnellement les théories scientifiques, comme si elles étaient parvenues à un état définitif, mais de les améliorer afin d'accroître notre maîtrise de l'environnement et la compréhension que nous avons de lui, Mach les envisage du double point de vue de leur *évolution naturelle* et de leur *histoire culturelle*. Il cherche à dégager, en historien-psychologue, en historien de la psyché des grands *Naturforscher*, les divers « motifs » qui ont guidé ces derniers et que les jeunes générations de chercheurs pourront prendre pour modèle afin de résoudre leurs propres problèmes et favoriser la *croissance* de la connaissance scientifique.

* Corto Santantonio, 7, rue Girardot, 93100 Montreuil. Email : corto.santantonio@univ-paris1.fr.

Mots-clés : Épistémologie; histoire des sciences; philosophie de la recherche scientifique; positivisme; néopositivisme; empiriocriticisme; Ernst Mach; Cercle de Vienne.

Summary: *This article sets out to reassess Mach's philosophy of scientific research. We argue that its most innovative and stimulating aspects have been misunderstood, if not completely obliterated, by the tendency among the members of the Vienna Circle themselves – but also among their commentators – to portray the Austrian physicist as a critic of language. On the contrary, we claim, that language – especially the formal languages of logic and mathematics – plays only a secondary role in his work, which of course does not mean that it is incidental. Thus, we seek to explore the gap between Mach's so-called "positivism" and Viennese neopositivism. The former does not "anticipate" the latter. Although Mach and the logical empiricists share the same spirit, this shared spirit nevertheless takes very different forms. Their positions diverge, even about the issue of anti-metaphysics, Mach's being much less dogmatic than has often been claimed. For the one who does it or practices it, science does not appear as a system of statements awaiting "verification," "reduction" or more generally "formalisation." The logical "schemas" of induction and deduction do not provide any new knowledge. That knowledge lies elsewhere: in the psychobiological processes at work in living beings – the sometimes very abstract Denkhandlungen of the researcher are an extension of the often very concrete Tätigkeiten of animals – and in the methods they use to avoid accidents (Zufall) and achieve the expected result. Since it is not a question of rationally reconstructing scientific theories, as if they had reached a definitive state, but of improving them to increase our mastery of the environment and our understanding of it, Mach considers them from the dual point of view of their natural evolution and their cultural history. As an historian-psychologist, as an historian of the psyche of the great Naturforscher, he seeks to identify the various "motives" that guided them, and that younger generations of researchers can take as a model for solving their own problems and promoting the growth of scientific knowledge.*

Keywords: *Epistemology; history of science; philosophy of scientific research; positivism; neopositivism; empiriocriticism; Ernst Mach; Vienna Circle.*

Introduction

Dans la première moitié du xx^e siècle, la réception philosophique de l'œuvre d'Ernst Mach s'est faite dans deux directions principales : celle du néopositivisme viennois et celle de la critique

matérialiste inspirée de Lénine¹. Cette double réception² a construit la figure d'un Mach empiriste, héritier de Hume et de Berkeley, qui chercherait à réduire les objets et les sujets à des agrégats de sensations. Mais Mach ne serait pas seulement un phénoménaliste sensualiste, à tendance idéaliste-solipsiste, il serait également positiviste : épigone de Comte, il aurait la métaphysique en horreur et s'efforcerait par conséquent d'éradiquer tout ce qui ne peut être donné dans l'expérience – tout ce qui n'est pas sensation présentement éprouvée ou vécue. Cherchant une base sûre sur laquelle fonder l'édifice de la connaissance scientifique, il la trouverait justement dans ces contenus expérientiels subjectifs, dont l'immédiateté garantit l'indubitabilité. Le programme du néopositivisme viennois, dans ses deux moments, négatif (d'éradication, ou, plus pudiquement, de « dépassement » de la métaphysique) et positif (d'ancrage des énoncés scientifiques dans l'expérience et d'unification des sciences particulières), serait déjà clairement formulé et partiellement développé. Il n'y aurait plus qu'à le mener à son terme.

Nous formulons tout cela au conditionnel. Cette image reçue de Mach n'a pas grand-chose à voir avec le Mach « historique ». Nous ne doutons pas que les membres du « premier » Cercle de Vienne aient eu de bonnes raisons de placer leurs recherches sous le patronage du physicien autrichien. Il y avait entre eux des communautés de vues, assurément. Nous pensons néanmoins que l'on est allé un peu vite dans l'examen de cette filiation. Tout le monde sait que la notion de « précurseur » est problématique. Avec elle, l'on court toujours le risque de l'illusion rétrospective : l'on croit voir dans la doctrine que l'on examine les prémices ou les linéaments de ce qui viendra après, si bien que l'on en gomme les spécificités. Comme l'écrivait Canguilhem, « avant de mettre bout à bout deux parcours sur un même chemin, il convient d'abord de s'assurer qu'il s'agit bien du même chemin³ ». Eh bien justement, nous doutons que les chemins em-

1 - Ce ne sont évidemment pas les seules. L'on pourrait également mentionner la phénoménologie naissante de Husserl, la psychologie de la forme, tout aussi embryonnaire, d'Ehrenfels, le néokantisme de Natorp, l'immanentisme de Schuppe et Verworn, etc.

2 - Dans le cas de Lénine, mieux vaudrait peut-être parler de non-réception.

3 - Georges Canguilhem, *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, 7^e éd. (Paris : Vrin, 1994 [1968]), 21.

pruntés par Mach et par ses « successeurs » viennois furent exactement les mêmes. Mach est-il cet opposant intransigeant à la métaphysique que l'on fait habituellement de lui ? Se propose-t-il vraiment de récuser tout énoncé ou tout concept ne pouvant être vérifié empiriquement ? Est-il bien sûr que sa critique se situe au niveau du langage ? Cherche-t-il, plus positivement, à faire reposer l'édifice de la connaissance scientifique sur l'expérience comprise en un sens subjectif comme ensemble de sensations ? Ces questions sonnent étrangement à l'oreille du connaisseur de Mach, qui sait bien que sa philosophie respire encore l'air du XIX^e siècle : elle est profondément marquée par la théorie darwinienne de l'évolution, l'histoire culturelle et l'anthropologie de Tylor, elle est pénétrée de la physiologie de Hering, Müller et Helmholtz, de la psychologie de Herbart, de la psychophysique de Fechner, et elle n'accorde qu'une place tout à fait limitée – si ce n'est secondaire – à la logique et à la linguistique. Vouloir lui appliquer les catégories forgées ultérieurement par les positivistes logiques, penser que leurs programmes sont parfaitement congruents, c'est lui faire violence et occulter sa singularité. C'est commettre un regrettable anachronisme. Que le Cercle de Vienne se soit initialement nommé *Verein Ernst Mach*⁴ n'aura décidément pas aidé à clarifier les choses. Un commentateur avisé estimait qu'il fallait creuser l'écart entre les deux projets : selon lui, « l'empirisme logique et la philosophie des sciences de Mach ne présentent pas beaucoup de points communs »⁵. Cette formule est excessive, assurément, mais son intention est bonne : déconnecter la philosophie de Mach de sa réception viennoise est le meilleur moyen de bien comprendre la première.

Nous essaierons de retracer brièvement, dans la première partie de notre travail, l'histoire de cette réception en montrant que la critique anti-métaphysique de Mach semble bien se situer sur le plan du langage. Les quelques éléments textuels soutenant cette idée ont été montés en épingle par Richard von Mises et surtout

4 - Sur la constitution de cette « association », voir Friedrich Stadler, *Wien-Berlin-Prag : Zum Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie*, in Rudolf Haller et Friedrich Stadler (dir.), *Wien-Berlin-Prag : Der Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie, Zentenarien Rudolf Carnap – Hans Reichenbach – Edgar Zilsel* (Vienne : Hölder-Pichler-Tempsky, 1993), 26.

5 - Gereon Wolters, *Il positivismo visionario : La filosofia della scienza di Mach*, *Intersezioni : Rivista di storia delle idee*, 10/2 (1990), 322.

par Philipp Frank. Leur lecture aura été déterminante pour la réception de Mach qui, dès lors, sera presque toujours présenté comme un ennemi résolu des spéculations métaphysiques, et un défenseur non moins passionné de la science et des faits. Nous ne contesterons évidemment pas l'existence d'une *pars destruens* dans l'œuvre machienne, mais nous chercherons à en relativiser la portée et à en réévaluer la signification. Elle n'est pas le tout de la pensée de Mach, et ne se justifie que par sa subordination à un double objectif à la fois plus concret et plus fondamental : favoriser la croissance de la connaissance scientifique et promouvoir l'unité des sciences.

Nous montrerons, dans la seconde partie de notre exposé, tout ce qui distingue la philosophie des sciences de Mach de celle de l'empirisme logique. La première est une réflexion sur la pratique de la recherche scientifique – sur ses méthodes, ses résultats, son histoire – avec laquelle elle est en prise directe, alors que la seconde étudie la science d'un point de vue formel comme un système d'énoncés stable et achevé en attente de « vérification », de « réduction » ou de « formalisation ». Mach ne sous-estime pas ce besoin purement formel de mise en ordre *a posteriori* de nos pensées – du chemin parcouru par la pensée –, que ce soit sous la forme d'une présentation (*Darstellung*) exempte de contradictions ou de « schémas » logiques – inductif et déductif. Néanmoins, il lui paraît secondaire eu égard :

- (a) au besoin *psychobiologique* de comprendre quelles activités du corps et de l'esprit sont effectivement mises en œuvre par le *Naturforscher* dans sa quête de connaissance;
- (b) au besoin *historique* d'identifier les *Forschungswege* empruntés par les grands scientifiques du passé afin d'atteindre la vérité;
- (c) au besoin *méthodologique* de fournir aux nouvelles générations de chercheurs des « points de vue directeurs » afin d'orienter avantageusement leurs enquêtes.

En lieu et place d'une « logique de la science » – au sens carnapien ou poppérien de l'expression –, Mach élabore une psycho-

biologie de la connaissance⁶, une histoire et une méthodologie des sciences. Cette triple approche établit de manière suffisamment claire et convaincante que la science, quoiqu'en disent les (néo-)kantiens et les néopositivistes « n'est pas une pure chose d'entendement » (*keine reine Verstandessache*⁷) : elle est une manifestation de la vie tout autant qu'une création historico-sociale, elle se déploie à partir de schèmes corporels pour se prolonger dans des thèmes intellectuels qui sont ceux d'un esprit incarné, d'un organisme connaissant pour survivre, et non d'une conscience « transcendante » constituant d'autant mieux l'expérience qu'elle en est complètement déconnectée. Prise au milieu de l'évolution naturelle et de l'histoire culturelle, elle n'est pas une chose à construire et à faire progresser, en indiquant aux nouvelles générations les *Forschungswege* qui ont conduit leurs ancêtres au succès et leur ont permis de s'orienter favorablement dans leur environnement – d'y survivre.

L'anti-métaphysique de Mach : une critique linguistique ?

La critique des « philosophèmes »

Les membres du Cercle de Vienne ont voulu retenir de Mach son attitude d'*Aufklärer*, de critique infatigable de la métaphysique, en particulier des entités obscures présentes en physique (l'espace et le temps absolus, la cause et l'effet, la matière, la force, etc.) et en philosophie (la substance matérielle et pensante, la volonté libre, etc.). Selon Richard von Mises, Mach

6 - Mach fait de la théorie de la connaissance au sens très englobant qui pouvait être celui de l'*epistemology* anglaise du XIX^e siècle et qui excède très largement le cadre étroit de l'*Erkenntnistheorie* traditionnelle, transcendante *comme* empiriste. Il n'est pas seulement question des conditions *a priori* de la connaissance ou de ses limites, mais aussi des processus physiologico-psychologiques *effectifs* mis en œuvre dans sa production et de sa finalité biologique. La biologie, la physiologie, la psychologie, toutes ces sciences ont quelque chose à nous dire sur le processus de connaissance, qui n'est pas seulement, et n'est pas *avant tout*, un processus logique. Dans le cas de Mach, il faudrait donc parler d'une anthropologie de la connaissance, où l'*anthropo-* en question ne renvoie pas au sujet gnoséologique traditionnel de la philosophie (un sujet soi-disant « pur ») mais bien au *vivant* humain, être tout à la fois naturel et culturel.

7 - Notizbuch de février 1882, cité par Hugo Dingler, *Die Grundgedanken der Machschen Philosophie* (Leipzig : Barth, 1924), 100.

fait preuve d'une « attitude résolument antimétaphysique⁸ » qui se manifeste en particulier dans le premier chapitre de *L'Analyse des sensations* – intitulé « Remarques préliminaires anti-métaphysiques » –, dans la Préface⁹ et dans le quatrième chapitre¹⁰ de la *Mécanique*, ainsi que dans de nombreux autres passages du corpus. Richard von Mises n'hésite pas à écrire que Mach est « aujourd'hui considéré comme le plus puissant et, pour notre époque, le plus typique des philosophes des Lumières de la dernière génération¹¹ », sorte de nouveau Voltaire qui cherche à éradiquer, dans le domaine qui est le sien, celui des sciences de la nature, les restes d'obscurités métaphysiques et théologiques. Pour cette raison, le rapprochement avec Hume, Auguste Comte et le néopositivisme viennois a semblé évident à bon nombre de commentateurs¹².

La ligne interprétative traditionnelle insiste avant tout sur la dimension critique ou « destructive » de l'entreprise machienne, qui ne consiste pas tant à introduire une nouvelle philosophie – phénoménaliste, sensualiste, etc. – qu'à en évincer une « ancienne et dépassée » – substantialiste, métaphysique,

8 - Richard von Mises, Ernst Mach und die empiristische Wissenschaftsauffassung : Zu Ernst Machs hundertstem Geburtstag am 18. Februar 1938, in Brian McGuinness et Joachim Schulte (dir.), *Einheitswissenschaft* (Francfort : Suhrkamp, 1992), 271. On retrouve exactement la même lecture chez Philipp Frank, Ernst Mach : The Centenary of his birth, *Erkenntnis*, 7/1 (1937), 250 ; ainsi que chez Otto Neurath, *Le développement du Cercle de Vienne et l'avenir de l'empirisme logique* (Paris : Hermann, 1935), 38.

9 - Ernst Mach, *La Mécanique : Exposé historique et critique de son développement*, trad. É. Bertrand, (Paris : Jacques Gabay, 1987), 1.

10 - Ce chapitre est intitulé « Conceptions théologiques, animiques et mystiques dans la mécanique ». Évidemment, ces conceptions doivent être combattues et dépassées par la science, cet ennemi du « merveilleux » et, plus généralement, de la croyance infondée, qu'elle détruit au moyen de l'élucidation rationnelle (*Aufklärung*) (Ernst Mach, *Die Prinzipien der Wärmelehre : Historisch-kritisch entwickelt*, éd. et introd. M. Heidelberger et W. Reiter [Berlin : Xenomoi, 2016], 431).

11 - Von Mises, *op. cit.* in n. 8, 250. Sur ce point, on pourra lire Thomas Uebel, Ernst Mach's enlightenment pragmatism : History and economy in scientific cognition, in John Preston (dir.), *Interpreting Mach : Critical essays* (Cambridge University Press, 2021), 88 sq. ; Pietro Gori, Ernst Mach and Friedrich Nietzsche, in Preston (dir.), *op. cit.*, 126-129.

12 - Là-contre, il faut rappeler que Mach a découvert Hume très tard (à la fin des années 1880), qu'il ne cite Comte que pour le critiquer et qu'il ne partage avec Carnap ou Neurath qu'un empirisme modéré. Mach a énormément lu, a puisé à d'innombrables sources, mais il est bien possible que les plus décisives d'entre elles ne soient pas celles auxquelles l'on pense habituellement. Il ne s'agit ni de Berkeley, ni d'Avenarius, ni de Comte, mais de Fechner, de Herbart, de Johannes Müller, de Hermann von Helmholtz, de Darwin, de Tylor, etc.

théologique¹³. Cette élimination concernerait avant tout les éléments de langage – les concepts – qu'elle emploie. Mach s'attaque effectivement aux philosophèmes qui s'introduisent subrepticement dans le discours des *Natuforscher* :

Parmi les nombreuses déclarations philosophiques [*Philosophemen*] qui ont été faites au courant du temps, certaines ont été reconnues par les philosophes eux-mêmes comme des erreurs, ou ont été exposées si clairement que toute personne sans préjugé pourrait facilement les reconnaître comme telles. En science, où elles ont fait l'objet de critiques moins attentives, elles ont survécu plus longtemps, tout comme une espèce sans défense [*wehrlose*] pourrait être épargnée sur une île éloignée et exempte de prédateurs. De tels philosophèmes qui, dans la science, ne sont pas seulement inutiles mais produisent des pseudo-problèmes nuisibles et oiseux [*schädliche mußige Pseudoprobleme*], ne méritent rien de mieux que d'être rejetés¹⁴.

Ce passage aurait pu être rédigé de la main de Rudolf Carnap ou d'Otto Neurath. Le physicien autrichien, « anticipant » une critique de nature linguistique, s'attaque ici aux éléments fondamentaux du discours qui conduisent à poser des pseudo-problèmes, c'est-à-dire des problèmes auxquels aucune réponse sensée ne peut être apportée. Si le *Natuforscher* s'y laisse prendre, il retombe alors « dans les mêmes erreurs que la philosophie a depuis longtemps identifiées comme telles¹⁵ ». Il fait un mauvais usage de certains concepts mal clarifiés, il étend indûment leur domaine de validité, il en donne une interprétation réaliste et leur confère une consistance ontologique qu'ils ne sauraient avoir en tant que *Denkmitteln* ou *Gedankendinge*. Le remède consiste à prêter attention à leur singulier contexte historique et culturel d'apparition, aux problèmes bien déterminés pour la résolution desquels ils ont été forgés, bref à faire preuve d'un peu de sens historique. Ainsi évite-t-on les *Pseudoprobleme*.

« Anticipant » certaines formulations caractéristiques du Cercle de Vienne, Mach affirme effectivement que « les problèmes ou

13 - Hans Hahn, Otto Neurath et Rudolf Carnap, La conception scientifique du monde : Le Cercle de Vienne, 1929, in Antonia Soulez (dir.), *Manifeste du Cercle de Vienne et autres écrits* (Paris : Vrin, 2010), 106, 110.

14 - Ernst Mach, *Erkenntnis und Irrtum* (Berlin : Xenomoi, 2011), 4.

15 - Ernst Mach, *Populär-Wissenschaftliche Vorlesungen*, éd. et introd. E. Nemeth et F. Stadler (Berlin : Xenomoi, 2014), 238.

bien sont *résolus*, ou bien sont reconnus *caducs*¹⁶», ou encore qu'il n'y a «pas de réponse sensée à une question dépourvue de sens¹⁷». Pour le physicien autrichien, aucune question n'est insoluble si elle est correctement posée : pas de mystère, pas de profondeur insondable, tout, en science, n'est que surface.

Par ailleurs, Mach reconnaît une certaine positivité dans le fait d'admettre qu'un problème, mal posé, ne peut recevoir de réponse sensée : «Éliminer les problèmes qui reposent sur des questions fallacieuses, erronées, démontrer l'insolubilité de ces problèmes, leur absence de sens ou l'impossibilité d'y répondre, constitue un progrès essentiel pour la science¹⁸.» Ce qui satisfait le *Naturforscher* risque néanmoins de décevoir le philosophe de métier occupé à «résoudre *une*, sept ou neuf *énigmes* concernant le monde¹⁹». L'approche de Mach, en effet, conduit très modestement à l'élimination des *Pseudoprobleme* ou des *vermeintliche Probleme*²⁰ qui perturbent le scientifique dans son travail; elle laisse la recherche positive faire le reste. Elle n'a à livrer qu'un «*principe régulateur négatif* pour la recherche en sciences de la nature²¹». Néanmoins, elle semble aller plus loin, en nous fournissant aussi un «critère» pour discriminer les

16 - Ernst Mach, *L'Analyse des sensations : Le rapport du physique au psychique*, trad. F. Eggers et J.-M. Monnoyer (Nîmes : Jacqueline Chambon, 1996), 318.

17 - Notizbuch de février 1882, cité par Rudolf Haller, *Grundzüge der Machschen Philosophie*, in Rudolf Haller et Friedrich Stadler (dir.), *Ernst Mach, Werk und Wirkung* (Vienne : Holder-Pichler-Tempsky, 1988), 70, note de bas de page.

18 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 274-275.

19 - Cette phrase est évidemment une référence explicite au fameux discours de Du Bois-Reymond intitulé «Über die Grenzen des Naturerkennens : Die sieben Welträtsel». L'*ignorabimus* formulé par ce dernier avait toujours semblé à Mach une «aberration» : «Que Du Bois-Reymond reconnaisse que son problème était insoluble, constituait déjà un pas essentiel, et cette prise de conscience fut pour beaucoup une émancipation, ainsi que le montre le succès, sans cela peu compréhensible, de son discours. Toutefois lui non plus n'a pas fait le pas le plus important, qui est de voir qu'un problème – s'il est reconnu principiellement comme insoluble – doit reposer sur une question que l'on formule à l'envers [*auf einer verkehrten Fragenstellung beruhen muss*]. Comme un nombre incalculable d'autres scientifiques, il prenait en effet les outils d'une science spécialisée pour le monde proprement dit (Mach, *op. cit.* in n. 16, 275).» La conscience ne s'explique pas avec les outils de la physique mécanique. Il faut en employer d'autres, qui respectent la spécificité de la vie psychique.

20 - Le second chapitre de *L'Analyse des sensations* est justement consacré à ces opinions préconçues (*vorgefasste Meinungen*) qu'il faut abandonner avant de commencer la recherche. Quelque chose comme une «psychanalyse» au sens bachelardien est ici nécessaire.

21 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 21-22.

problèmes – et les énoncés – doués de sens de ceux qui en sont dépourvus : « Des mots qui ne pourraient pas du tout désigner des complexes d'expériences sensorielles seraient tout bonnement incompréhensibles, sans signification²². » C'est du moins ainsi que la plupart des lecteurs de Mach l'ont compris. Ils ont vu en lui, à l'instar de Philipp Frank et de Richard von Mises, le « précurseur » des thèses les plus fameuses de l'empirisme logique, dont le fameux « principe de vérification » ou « critère vérificationniste du sens ».

Mach, philosophe du langage ?

Jusqu'ici, tout semble indiquer que Mach opère un dépassement, grâce à la critique du langage, des pseudo-problèmes philosophiques²³. Ce ne sont pas seulement les quelques éléments textuels « objectifs » que nous venons d'exposer – il n'y en a pas beaucoup d'autres dans le corpus machien – qui ont rendu possible une telle lecture. Ils n'auraient certainement pas été suffisants pour faire du physicien autrichien le « précurseur » de l'empirisme logique. Ce sont deux membres importants du Cercle de Vienne, Philipp Frank et Richard von Mises, qui ont réalisé le tour de force consistant à faire de lui un critique du langage. Selon le premier, Mach se proposerait d'unifier les diverses disciplines scientifiques au moyen d'un « langage de la perception » (*perception language*). Il n'aurait jamais affirmé que « notre monde consiste en complexes de perceptions », mais plutôt que « chaque énoncé scientifique est une affirmation concernant des complexes de perceptions ». Une telle affirmation contient des « termes de la perception » (*perception terms*) en tant que prédicats – comme les mots « vert », « chaud », « agréable », « douloureux », etc. Ce « langage de la perception » est censé prendre la place du langage de la métaphysique traditionnelle et rendre ainsi possible l'unification de la science. Un énoncé qui ne serait pas réductible à un énoncé contenant des termes perceptifs en tant que prédicats ne peut être vérifiée par l'expérience : c'est une proposition métaphysique. Ainsi, la *pars destruens* de l'exposé machien viserait tous les énoncés

22 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 30.

23 - Friedrich Stadler, *Vom Positivismus zur « wissenschaftlichen Weltauffassung » : Am Beispiel der Wirkungsgeschichte von Ernst Mach in Österreich von 1895 bis 1934* (Vienne : Löcker, 1982), 104.

non réductibles à des énoncés d'observation²⁴. R. von Mises, quant à lui, a été un peu plus perspicace : même si la section qu'il consacre, dans son *Lehrbuch des Positivismus*, à la théorie machienne des éléments s'ouvre par un premier paragraphe intitulé *Elementarsätze*, il reconnaît dès le début que

Mach ne veut pas analyser des énoncés, des systèmes de propositions, des théories, mais le monde des apparences lui-même. Ses éléments ne sont pas les propositions les plus simples, c'est-à-dire les composants des théories, mais ce sont [...] les faits, les processus, les phénomènes les plus simples, dont se compose le monde dans lequel nous vivons et que voulons connaître²⁵.

Néanmoins, immédiatement après, R. von Mises propose d'appliquer la distinction carnapienne entre langage matériel et langage formel à ladite théorie : « Pour nous, le monde consiste en un complexe de sensations, à traduire ainsi lorsqu'on s'exprime formellement : nos énoncés, propositions, questions sur le monde peuvent être ramenés à des énoncés, propositions, questions sur des sensations²⁶. » Et de prétendre que c'est exactement ce que l'on trouve dans Mach, soit « une réduction de tous les énoncés et de toutes les théories à des énoncés élémentaires parfaitement simples²⁷ ». La véritable quête de Mach aurait été celle d'un « langage unitaire » faisant le lien entre les diverses disciplines scientifiques – la physique, la physiologie et la psychologie. L'interprétation de Philipp Frank et Richard von Mises aura été déterminante pour toute une génération de lecteurs de Mach. Ainsi, un commentateur aussi avisé que Rudolf Haller affirme, comme si cela allait de soi, que le physicien autrichien cherche à réduire les langages employés par les sciences particulières à un unique *langage des phénomènes*, le plus économique

24 - Frank, *op. cit.* in n. 8, 251-252.

25 - Richard von Mises, *Kleines Lehrbuch des Positivismus : Einführung in die empirische Wissenschaftsauffassung* (Francfort : Suhrkamp, 1990), 151.

26 - Von Mises, *op. cit.* in n. 25, 152.

27 - Von Mises, *op. cit.* in n. 25, 152. Nous ne rendons peut-être pas ici pleinement justice à la perspicacité de Richard von Mises, qui semblait bien conscient de ce que son approche ajoutait à celle de Mach : « L'auteur est un disciple dévoué de Mach, mais imprégné d'une attitude fortement critique envers le langage. » (*The author is a devoted disciple of Mach, but imbued with a strongly critical attitude towards language.*) Richard von Mises, *Scientific conception of the world : On a new textbook of positivism*, in Richard von Mises, *Selected papers*, vol. 2, *Probability and statistics : General* (Providence [R. I.] : American Mathematical Society, 1964), 524; nous soulignons.

de tous²⁸. Évidemment, ce langage est *phénoménaliste*, plutôt que *physicaliste* : tous les énoncés doués de sens devraient pouvoir être ramenés, en dernière instance, à des énoncés portant sur des *sensations*. Mach aurait même été un des tout premiers à avoir formulé un critère vérificationniste de la signification de nos énoncés : « En reconnaissant qu'il y a non seulement des *jugements* et des assertions dénués de sens, mais aussi des *questions* qui peuvent l'être, Mach découvre un instrument précieux pour l'examen critique des préjugés : la recherche du sens des énoncés et des questions. Bien entendu, une telle analyse nécessite un *critère du sens* que Mach ne formule pas explicitement, mais qu'il utilise expressément et que l'on peut certainement appeler une forme anticipée [*Vorform*] d'un critère du sens empirique²⁹. »

Une telle lecture nous paraît très contestable. Premièrement, Mach n'a jamais caressé l'idée d'un langage phénoménologique. Ce dernier, par définition privé, mérite à peine le nom de langage. La communication, si elle doit être intersubjective, ne peut concerner les sensations éprouvées par une conscience incarnée, mais seulement des éléments communs, obtenus par idéalisation des phénomènes. La *physique* phénoménologique de Mach est une description dans les éléments (*Beschreibung in den Elementen*) qui *ne sont pas* des sensations. Il s'agit plutôt d'éléments de masse, d'espace et de temps, ceux qui figurent dans les relations fonctionnelles, c'est-à-dire dans les équations, du physicien³⁰. Deuxièmement, la connaissance scientifique ne porte pas sur des *sensations*³¹, mais sur des *faits*, qui ne sont pas de simples « agrégats » de sensations, puisqu'ils sont pénétrés de pensée jusqu'à être reconstruits (*nachgebildet*) par

28 - Rudolf Haller, Ludwig Wittgenstein und die österreichische Philosophie, in Leo Gabriel et Johann Mader (dir.), *Philosophie in Österreich : Als Beitrag zum XIV. Internationalen Kongress für Philosophie in Wien, 2.-9. September 1968* (Vienne : Österreichischer Bundesverlag für Unterricht, Wissenschaft und Kunst, 1968), 81 sq. Allan Janik, de même, estime que « le propos de Mach était l'institution de ce qu'on appellerait plus tard une langue d'observation neutre » et qu'il cherchait par là à « bannir tous les vocables à caractère métaphysique de la langue » (Allan Janik, *Les crises du langage*, *Revue d'esthétique*, 9 [1985], 56).

29 - R. Haller, Grundzüge der Machschen Philosophie, in Haller et Stadler (dir.), *op. cit.* in n. 17, 70.

30 - Mach, *op. cit.* in n. 16, 296.

31 - Les sensations requièrent une *analyse*. Elles sont problématiques et ne peuvent constituer, sans autre forme de procès, la base de la connaissance.

elle. La validité de nos prétentions cognitives ne s'établit pas en « indiquant leur sens », comme c'était par exemple le cas pour Schlick, mais plutôt en déterminant si elles favorisent ou non notre orientation intramondaine, et donc notre survie. Un « jugement vrai », une « connaissance », c'est avant tout une expérience psychique qui nous est favorable – directement ou indirectement – sur le plan biologique et non une proposition dont on a réussi à montrer qu'elle a du sens – que ce qu'elle affirme peut être perçu ou observé³². « Vérité et erreur coulent des mêmes sources psychiques » ; seul le « succès » permet de les distinguer³³. Leur analyse ne commence pas pour Mach par l'analyse du langage³⁴, mais par l'analyse des motifs indissolublement psychologiques et historiques qui y ont conduit. Troisièmement, Mach cherche à unifier les sciences à l'aide des éléments neutres et des fonctions les reliant, et non d'un langage intersubjectif et universel. Carnap assignait à sa théorie de la constitution l'élaboration d'un langage neutre. Mach n'a rien promis de tel. Il n'est pas non plus question pour ce dernier de *réduire* l'ensemble des sciences à une science jugée plus « fondamentale » – la physique, par exemple. Quatrièmement, nous pensons que ces questions de démarcation entre ce qui est *sinnvoll* et ce qui est *unsinnig*, ou encore de discrimination entre sciences authentiques et pseudo-sciences, chez un penseur qui se caractérise par une connaissance approfondie de l'histoire des sciences (qui est toujours celle de l'intrication du rationnel et de l'irrationnel, du mariage impur de la science à la théologie, à la métaphysique, voire à la magie) et qui n'a cessé de promouvoir l'interrelation et la collaboration des disciplines (y compris de la philosophie, *même spéculative*, avec les sciences³⁵), ne sont pas du tout aussi fondamentales qu'on a bien voulu le dire.

Il sera peut-être difficile d'admettre que Mach n'avait pas l'intention de séparer la science de la pseudo-science. Le lecteur a l'impression que Mach ne se contente pas d'un gel ou d'un désarmement des questions métaphysiques, comme cela se passe par exemple en phénoménologie. Son propos a l'air

32 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 124.

33 - *Ibid.*

34 - Comme pouvait l'écrire par exemple Hans Reichenbach (Hans Reichenbach, *L'Avènement de la philosophie scientifique*, trad. G. Weill [Paris : Flammarion, 1955], 9).

35 - Mach, *op. cit.* in n. 15, 238.

beaucoup plus virulent : il s'attaque à la métaphysique afin de l'éliminer. Nous croyons que cette impression est trompeuse. Mach n'a pas « combattu » la métaphysique, il n'a pas mené une « lutte acharnée » contre elle, que ce soit à l'aide de l'analyse logique du langage ou de quoi que ce soit d'autre³⁶. L'*anti*-métaphysique se nourrit de la métaphysique et n'existe que par elle. Après s'être occupé de métaphysique dans sa jeunesse (il avait même été accusé, par ses collègues, de verser dans la *Naturphilosophie*), il l'avait finalement abandonnée et l'avait laissée aux métaphysiciens de métier : « Que les philosophes et les théologiens fassent ce qu'ils veulent avec la métaphysique. Si, en revanche, les physiciens, les physiologistes et les psychologues s'habituent à se passer de métaphysique [*sich gewöhnen, ohne Metaphysik auszukommen*], on a tout gagné³⁷. » La métaphysique est ce dont il faut apprendre à se passer plutôt que ce qu'il faut combattre activement. La critique machienne n'est pas si virulente qu'on le dit. Comme celle de Wittgenstein, elle laisse toutes choses en l'état : « Tous les points de vue éminemment valables dans les sciences spécialisées et dans les représentations du monde qui sont celles de la philosophie restent encore applicables, et je les applique moi-même³⁸. » Mach ne voulait pas fonder de religion et ne cherchait à convertir personne. S'il a préféré le concept de « fonction » à celui, plus métaphysique, de « cause », par exemple, c'était pour satisfaire ses propres besoins et ses propres objectifs. Il ne cherchait pas à « détruire » le second. Si pour quelqu'un cette substitution n'apportait aucune précision ou aucun éclaircissement supplémentaires, il pouvait parfaitement s'en tenir aux anciens concepts : « Je n'ai

36 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 289, note de bas de page. Affirmer, comme le fait Erik C. Banks, que l'*anti*-métaphysique de Mach était une « croisade » contre la *Naturphilosophie* est franchement excessif (Erik C. Banks, *Ernst Mach's world elements : A study in natural philosophy* [Dordrecht : Kluwer, 2003], 36). Un *Aufklärer* qui a passé son temps à critiquer les méthodes typiques de la religion employées par certains de ses opposants, comme Planck, n'aurait pu les adopter lui-même.

37 - Lettre de Mach à Friedrich Adler du 22 avril 1908, in Haller et Stadler (dir.), *op. cit.* in n. 17, 280. Mach finira par abandonner les termes de « métaphysique » et d'« *anti*-métaphysique » au moment de la rédaction de l'*Optik* : voir la lettre de Mach à Friedrich Adler du 16 mars 1910, in John T. Blackmore et Klaus Hentschel (éd.), *Ernst Mach als Außenseiter : Machs Briefwechsel über Philosophie und Relativitätstheorie mit Persönlichkeiten seiner Zeit ; Auszug aus dem letzten Notizbuch (Faksimile) von Ernst Mach* (Vienne : Wilhelm Braumüller, 1985), 77-78.

38 - Mach, *op. cit.* in n. 16, 318. Voir également le Notizbuch 55 du 9 novembre 1900, in Haller et Stadler (dir.), *op. cit.* in n. 17, 198 : « Tout dans la physique reste en l'état. » (*Alles in der Physik bleibt aufrecht.*)

ni le pouvoir, ni le besoin, écrivait-il, de convertir chacun, pris individuellement, à mon opinion³⁹. » Cette déclaration est celle d'un esprit fondamentalement anti-dogmatique et libéral, pour qui des concepts comme ceux de « chose », de « corps », de « matière », de « substance », etc., n'ont pas à être abandonnés sans autre forme de procès⁴⁰. En effet, ils rendent d'incontestables services au savant lorsque celui-ci poursuit un but *pratique*. À ce titre, ils pourraient tout à fait se révéler indispensables et même irremplaçables. Qu'en est-il du point de vue *théorique*? Il semble y avoir, pour Mach, un « bon » usage, en science, de ces concepts que l'on pourrait sans problème qualifier de « métaphysiques ». Ainsi du concept de « substance », auquel il accorde une attention toute particulière dans ses *Prinzipien der Wärmelehre*. Cette notion, affirme notre auteur, représente bien « une partie des relations factuelles », même si « elle ne les épuise pas ». À ce titre, elle peut « conduire à des découvertes importantes », comme cela s'est déjà produit par le passé. Elle n'est donc certainement pas à rejeter en tant que telle⁴¹. Évidemment, l'objectif est de parvenir à une description des faits purifiée de ce genre de concepts, à ce que Mach nomme une « description directe ». Il s'agit d'un idéal, régulateur dirions-nous, qui n'a été atteint qu'exceptionnellement – par Fourier, par exemple. Les remarques « anti-métaphysiques » sont prophylactiques plutôt que destructives : il faut éviter de prendre trop au sérieux les *Gedankendinge* que l'on « surajoute en pensée » aux faits, c'est-à-dire ne pas prendre les premières pour les seconds, ne pas confondre les deux ordres, comme Black avait pu le faire. C'est qu'il y a effectivement de nombreuses exceptions pour lesquelles la notion de substance ne permet pas de fournir une expression *exacte* des faits. Néanmoins, là où elle est appropriée, comme dans les cas assez simples de communication de la chaleur, on peut continuer à l'utiliser en tant qu'illustration intuitive (*als Veranschaulichungsmittel*), et c'est en tant que telle qu'elle conserve toute sa valeur pour l'avenir⁴². Comme toujours, Mach adopte une position pondérée, balancée, circonspecte, très éloignée du dogmatisme éliminativiste censé

39 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 289, note de bas de page.

40 - Ernst Mach, *Die Analyse der Empfindungen*, éd. et introd. G. Wolters (Berlin : Xenomoi, 2008 [1886]), 337.

41 - Mach, *op. cit.* in n. 10, 477.

42 - Mach, *op. cit.* in n. 10, 215.

caractériser la *Stimmung* positiviste. Il ne lui serait pas venu à l'esprit d'interdire aux *Naturforscher* l'utilisation d'un concept, d'une analogie ou d'une hypothèse permettant de dissiper la gêne, d'apaiser l'« inquiétude psychophysiologique »⁴³, extrêmement déplaisante, ressentie à l'occasion d'un problème non réglé.

Comme on le voit, il ne s'agit pas tant d'en finir avec la métaphysique comme telle (en finit-on avec un *besoin* de la raison ?) que de contrer le *devenir-métaphysique* de certaines notions, c'est-à-dire leur absolutisation, leur soustraction au pouvoir relativisant de l'évolution naturelle et de l'histoire culturelle. Maupertuis et d'Alembert l'avaient fait, avant Hertz, pour la force; Mach le fit pour la masse, ainsi que pour l'espace et le temps absolus. Ces concepts sont « métaphysiques » au sens où « nous avons oublié comment nous y sommes arrivés »⁴⁴ : nous ne parvenons pas à exhiber leur ancrage dans l'expérience, fût-elle pluriséculaire. Nos plus anciens concepts – ceux de substance, de cause, de force, etc. – sont ceux qui, se perdant dans les limbes de temps immémoriaux, nous apparaissent comme universels et nécessaires, *a priori*, tout simplement parce que nous n'en apercevons plus l'origine et ne sommes pas capables d'en retracer le lent développement. Survivant dans les conceptions actuelles, s'imposant d'autant plus fortement à l'esprit que leur genèse demeure ininterrogée, nous ne nous demandons plus s'ils permettent une reconstruction adéquate des faits. Nous faisons avec eux. Ils sont devenus des préjugés, parfois dotés d'une indéniable utilité pratique, mais potentiellement néfastes pour le progrès de la connaissance, qui est la grande affaire de Mach. Contre la rigidification de la pensée, il n'y a qu'un remède, qu'apporte l'analyse historico-critique : en retraçant la genèse de nos concepts, en indiquant leur origine dans l'expérience et les transformations successives qu'ils ont subies au cours de leur évolution, elle montre que lesdits concepts auraient pu ne pas être, ou qu'ils auraient pu prendre une forme *autre* que celle qu'ils revêtent actuellement⁴⁵. Étant empiriques et non pas *a priori*, ils peuvent également être modifiés. Le

43 - Mach, *op. cit.* in n. 15, 340.

44 - Ernst Mach, *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit* (Leipzig : Barth, 1872), 2-3.

45 - Pour une lecture similaire, voir Gori, *op. cit.* in n. 11, 127-128.

Naturforscher recouvre ainsi la maîtrise logique de ce qui est aussi et surtout sa propre construction.

Deux conceptions très différentes de la science

La science comme discours et la science comme pratique

Mach n'abordait pas les problèmes philosophiques du point de vue du langage, il s'intéressait assez peu au *sens* des énoncés scientifiques, et il n'a pas cherché un « critère » permettant de démarquer ces derniers des pseudo-énoncés de la métaphysique. Dans une lettre adressée à Fritz Mauthner, il reconnaissait être peu versé dans la *Sprachwissenschaft*⁴⁶. L'on ne trouve pas dans ses écrits un intérêt pour le langage et la grammaire aussi prégnant que dans ceux de Nietzsche, auquel on le compare souvent, et à juste titre. Ce qui ne signifie pas qu'il n'y a chez lui *aucune* réflexion sur le langage – ce qui serait évidemment faux –, mais que celle-ci est tout à la fois d'une autre nature et de moindre importance. Plutôt que d'une authentique *Sprachkritik*, telle qu'on la trouve effectivement développée chez ses successeurs et « disciples »⁴⁷, mieux vaudrait parler d'une étude tout à la fois biologique et ethnologique du langage, qui retrace les principales étapes de son développement depuis ses origines animales jusqu'à ses formes les plus sophistiquées – pensons au symbolisme mathématique que Mach appelle aussi « pasigraphie »⁴⁸. En cette analyse où se mêlent indissolublement le naturel et le culturel, le langage apparaît comme un puissant et pour tout dire incomparable outil d'épargne de l'énergie intellectuelle, communiquant aux nouvelles générations les expériences réalisées par les ancêtres ou par les contemporains.

Disparu en 1916, après avoir subi, plusieurs années auparavant, une attaque d'apoplexie qui le laissa partiellement paralysé, Mach demeura fondamentalement étranger au « linguistic turn » opéré lors de ce *Jahrhundertwende*. Le « tournant épisté-

46 - Lettre de Mach à Mauthner du 28 octobre 1901, in Haller et Stadler (dir.), *op. cit.* in n. 17, 233.

47 - Nous pensons évidemment à Fritz Mauthner, dont il vient d'être question, mais également à Adolf Stöhr.

48 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 340-341.

mologique⁴⁹ » qu'il disait vouloir initier n'avait effectivement pas grand-chose à voir avec le « grand tournant de la philosophie » annoncé plus tard par Schlick. S'il est vrai que ces deux *Wendungen* ont pour objectif de rendre possible l'unification des sciences, la collaboration de recherches spécialisées qui se tiennent encore éloignées les unes des autres, ils ne le font pas de la même manière. Schlick, et les empiristes logiques en général, sont convaincus que la science et la philosophie sont essentiellement affaire de langage. La connaissance scientifique – il n'y en a pas d'autre – est de l'ordre d'une « expression » (*Ausdruck*) ou d'une « présentation » (*Darstellung*⁵⁰) des faits dans un certain langage, c'est-à-dire dans un système arbitraire de signes qui ne partagent eux-mêmes qu'une seule chose : une certaine forme logique. Il revient à la philosophie de l'élucider. En effet, elle est une *logique* de la science, une activité qui s'épuise entièrement dans l'examen des concepts, des énoncés et des discours (théoriques) formulés par les scientifiques. Elle est également animée d'un esprit empiriste : elle exige des énoncés théoriques qu'ils puissent être reconduits à des énoncés observationnels – les fameux énoncés « protocolaires », que l'on pourra formuler dans un langage phénoménaliste ou physicaliste. Si l'on schématise, l'on peut dire que la science est structurée en deux étages, l'un « théorique » et l'autre « empirique », les énoncés du premier devant être réduits à ceux du second à l'aide de certaines règles de correspondance.

Mach était sceptique quant à la possibilité d'isoler ainsi les deux aspects. *Praktiker* plutôt que *Theoretiker*, il savait parfaitement que l'on n'expérimente pas sans idée préalable, et que l'observation en est comme imprégnée : « L'observation et la théorie ne sont pas non plus à séparer nettement, car presque chaque observation est déjà influencée par la théorie et rétroagit d'autre part sur la théorie si elle est suffisamment importante⁵¹. » Qui

49 - Mach, *op. cit.* in n. 40, 6.

50 - Moritz Schlick, *Le Tournant de la philosophie*, trad. Delphine Chapuis-Schmitz, in Sandra Laugier et Pierre Wagner (dir.), *Philosophie des sciences*, t. 1, *Expériences, théories et méthodes* (Paris : Vrin, 2004), 181.

51 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 173 : *Auch Beobachtung und Theorie sind nicht scharf zu trennen, denn fast jede Beobachtung ist schon durch die Theorie beeinflusst und äußert bei genügender Wichtigkeit anderseits ihre Rückwirkung auf die Theorie*. Voir également *ibid.*, 212; *id.*, *op. cit.* in n. 10, 501; *id.*, *op. cit.* in n. 9, 126. Cela n'a donc rien d'un *apax*.

plus est, la science ne lui apparaissait pas avant tout comme un ensemble de connaissances devant faire l'objet d'une présentation rigoureuse, d'une formalisation. Il n'a consacré que quelques développements, d'ordre essentiellement négatif, à ce qu'il nomme « science en tant qu'exposition » : certains chercheurs, animés par le besoin de *tout* démontrer, lui paraissaient obsédés par l'exposition déductive de leurs résultats. Ce besoin, propre aux esprits géométriques, risque d'entraver les progrès de la recherche; il a un effet inhibiteur (*hemmend*) en ce qu'il masque plus ou moins volontairement les voies de la recherche et empêche de savoir comment les *Naturforscher* sont parvenus à leurs découvertes. Nous reviendrons sur cette critique un peu plus bas.

L'on pourrait dire, de manière quelque peu caricaturale, que la science était pour lui une chose que l'on *fait*, plutôt qu'on ne la *dit*. Rappelons qu'il a consacré trente-cinq années de sa vie – de 1860, alors qu'il n'avait que vingt-deux ans, à 1895, lorsqu'il quitta Prague pour reprendre la chaire de Philosophie de l'Université de Vienne – à la physique expérimentale⁵². Il a également conduit de nombreuses investigations en physiologie des sens et en psychologie. Il avait un rapport extrêmement étroit – quasi quotidien – avec la recherche scientifique. Sa philosophie en est complètement imprégnée : elle est fondée sur les résultats de la science, et se propose d'étudier les processus psychophysiologiques et les méthodes mises en œuvre pour les obtenir – ainsi que l'histoire de leur obtention. Elle n'a aucunement vocation

52 - Mach y fait référence dans *Erkenntnis und Irrtum* : « Pendant plus de 40 ans, j'ai eu l'occasion, en tant qu'observateur naïf, partisan d'aucun système, de voir en laboratoire et en salle de cours les voies par lesquelles la connaissance progresse. J'ai essayé de les exposer dans différents écrits (Mach, *op. cit.* in n. 14, 4). » Voir (de ses propres yeux) comment la science progresse effectivement, cela se fait en expérimentant soi-même, mais aussi en étudiant les grandes découvertes scientifiques du passé. D'où l'intérêt prononcé de Mach pour la recherche historique qui permet d'exhiber les voies – qui ne sont jamais purement *logiques* – le long desquelles la connaissance progresse. Ses réflexions épistémologiques sont directement tirées de la recherche scientifique dans laquelle il était quotidiennement engagé, ainsi que de son étude historique des théories physiques. Mach était très proche de Duhem de ce point de vue. Ce dernier, en effet, écrit dans l'introduction de sa *Théorie physique* que le doctrine qu'il s'apprête à exposer n'est pas « un système logique issu de la seule contemplation d'idées générales » et qu'elle n'est pas « construite par une méditation ennemie du détail concret ». Au contraire, elle est directement tirée de « la pratique quotidienne de la science » (Pierre Duhem, *La Théorie physique : Son objet – sa structure*, 2^e éd. revue et augmentée (Paris : Vrin, 1997), xvi).

à fournir les « représentations formelles adéquates des expressions scientifiques en général ⁵³ ». Rien de plus éloigné de sa pensée que de considérer la science, à l'instar de Schlick, comme un « système de propositions d'expérience vraies » (*ein System von wahren Erfahrungssätzen* ⁵⁴). Pour reprendre les termes mêmes de Schlick, ce n'est pas « la nature de l'expression, de l'exposition » qui intéresse Mach, mais justement le « pouvoir de connaître humain » : il réfléchit en termes d'association, d'imagination, d'abstraction, d'expérimentation mentale, etc., autant d'activités ou opérations de l'esprit ⁵⁵ qui confèrent à son discours une forte teinte psychologue. L'analyse philosophique de la pensée ne passe pas tant par une analyse de son expression ou de sa formulation au moyen de mots et de symboles (soit par une théorie de la signification linguistique) que par celle de ses sous-bassements physiologiques, de son ancrage social, de ses manifestations psychologiques, de son évolution historique et de sa finalité biologique. La pensée a la priorité sur le langage, et non l'inverse. Par ailleurs, elle est beaucoup trop riche et complexe pour que l'on puisse la réduire à une simple « transition d'énoncés à d'autres énoncés qui ne contiennent rien qui n'ait déjà été dans les premiers ⁵⁶ ». Le regard réflexif que Mach porte sur sa pratique de scientifique ne le conduit jamais à adopter un point de vue *métascientifique*, de « surplomb ». Sa philosophie est *in-trascientifique*, elle est directement branchée sur ladite pratique. C'est une philosophie de l'expérience au double sens d'*Erfahrung* (l'expérience à connaître et à purifier) et d'*Erlebnis* (l'expérience vécue du chercheur au travail).

Disons un mot du premier aspect. Nous reviendrons en détail sur le second à la fin de notre étude. Mach était empiriste, cela est bien connu : il s'intéressait essentiellement aux sciences qui ont trait à l'expérience (physique, physiologie, psychologie) et plus exactement à leur contenu expérientiel – plutôt qu'au formalisme grâce auquel ledit contenu est exprimé. Il le justifiait dès l'introduction de la *Mécanique*, ouvrage qui est aussi et avant tout un manuel à destination d'étudiants cherchant à se for-

53 - Dudley Shapere, *Meaning and scientific change*, in Ian Hacking (dir.) *Scientific revolutions* (Oxford University Press, 1981), 29.

54 - Schlick, *op. cit.* in n. 50, 182.

55 - Mach, suivant la leçon de Herbart, se garde bien de les hypostasier : ce ne sont pas à proprement parler des « facultés » de l'âme.

56 - Hahn, Neurath et Carnap, *op. cit.* in n. 13, 113.

mer à cette branche de la physique. La « partie mathématique », écrit-il, y est tout à fait « accessoire » (*Nebensache*). Cela signifie deux choses : premièrement, qu'elle est réduite, dans le corps du texte, à la portion congrue ; deuxièmement, qu'elle est considérée comme un système commode de signes grâce auquel l'on peut exprimer ce qui *a vraiment une valeur* : les faits. Ces derniers constituent le *contenu* de la science. Mach ne l'aborde pas de manière purement « positive » : il ne s'intéresse pas seulement « à la question de savoir quel est le contenu de la mécanique *en tant que science de la nature* », mais se demande aussi « *comment* nous y sommes arrivés, à quelle *source* nous l'avons puisé et jusqu'à quel point nous pouvons le considérer comme une possession *bien assurée* ⁵⁷ ». Autrement dit, il se pose des problèmes de *genèse*, qu'il résout en combinant biologie, physiologie, psychologie et histoire. Il cherche à exhiber systématiquement le fondement empirique des connaissances scientifiques – y compris des connaissances mathématiques – et à exposer l'histoire culturelle de leur acquisition et l'évolution naturelle de leurs transformations. La formalisation desdites connaissances ne l'occupe absolument pas. Il suffit d'ouvrir les ouvrages *historisch-kritisch* de Mach pour voir qu'il n'aborde pas les théories scientifiques comme des réseaux syntaxiques ou des calculs axiomatiques. Il cherche encore moins à fournir à son lecteur « la description de la forme canonique idéale qu'une théorie scientifique devrait en principe pouvoir prendre ⁵⁸ ». Son approche est tout autre. À vrai dire, elle est très dépayssante. Envisagée au prisme de la biologie, la science apparaît comme une « page de notre évolution organique ⁵⁹ » et ses théories comme des « feuilles » qui se détachent de « l'organisme de la science » une fois qu'elles l'ont fait « respirer ⁶⁰ ». Ce n'est pas la signification du terme « théorie » qui l'intéresse, mais la théorie comme entité quasi-naturelle, produite par des vivants, pour des vivants :

La science est pour le vivant, l'individu sain [*die Wissenschaft*

57 - Mach, *op. cit.* in n. 9, 1. Voir également *ibid.*, 418 : « Notre but dans cet ouvrage n'est pas de développer des théories mathématiques, mais simplement d'étudier la partie purement physique de la science mécanique. »

58 - Marion Vorms, Theories and models, in Anouk Barberousse, Denis Bonnay et Mikaël Cozic (dir.), *The Philosophy of science : A companion* (Oxford University Press, 2018), 197.

59 - Mach, *op. cit.* in n. 10, 438.

60 - Mach, *op. cit.* in n. 44, 46.

ist für den Lebenden, Gesunden]. Pas pour le mort ou l'inexpérimenté. Elle est pratique. Imaginez une science pour le rêveur. Est-elle encore valable pour celui qui est éveillé ? Elle ne l'est pas plus que pour le mort. La science n'a de sens que tant qu'il y a des vivants organisés de la même manière⁶¹.

La science n'est pas faite par et pour de purs esprits ou des êtres purement logiques, mais par des organismes vivants, des esprits incarnés qui interagissent avec un environnement qui les tue autant qu'il les soutient, comme disait William James. Elle sert des stratégies adaptatives, mieux : elle se définit elle-même par un double processus d'adaptation, celui des pensées aux faits d'une part (critère empirique), et celui des pensées entre elles d'autre part (critère logique). Bref, la science est la continuation des orientations pratiques de la vie avec des moyens théoriques. Malgré une autonomisation partielle et une quête de la connaissance pour elle-même, elle ne rompt jamais complètement avec de telles « orientations »⁶². Les commentateurs n'ont pas manqué de relever la dimension *pragmatique* d'une telle conception, et de la comparer à celle de William James⁶³. Ce dernier a été fortement influencé par les recherches expérimentales exposées dans *L'Analyse des sensations*⁶⁴, ainsi que par les développements de théorie de la connaissance, d'histoire et de méthodologie des sciences, présents dans *La mécanique* et dans *Erkenntnis und Irrtum*⁶⁵. De l'autre côté, il est assez remarquable que Mach, qui refusait le titre de philosophe et menait ses recherches avec une

61 - Notizbuch 51 du 22 mai 1896, in Haller et Stadler (dir.), *op. cit.* in n. 17, 196.

62 - Mach, *op. cit.* in n. 15, 363.

63 - John T. Blackmore, *Ernst Mach : His life, work, and influence* (Berkeley / Los Angeles / London : University of California Press, 1972), 126-128; Gerald Holton, Ernst Mach and the fortunes of positivism in America, *Isis*, 83/1 (1992), 27-60; Friedrich Stadler, Ernst Mach and pragmatism : The case of Mach's popular scientific lectures (1895), in Sami Pihlström, Friedrich Stadler et Niels Weidtmann (dir.), *Logical empiricism and pragmatism* (Springer, 2017), 3-14; Massimo Ferrari, William James and the Vienna Circle, in Pihlström, Stadler et Weidtmann (dir.), *op. cit.*, 19-22; Pietro Gori, Ernst Mach and pragmatic realism, *Revista portuguesa de filosofia*, 74/1 (2018), 151-172; Erik C. Banks, Empiricism of pragmatism ? Ernst Mach's ideas in America 1890-1910, in Friedrich Stadler (dir.), *Ernst Mach : Life, work, influence* (Springer, 2019), 485-500; Alexander Klein, On the philosophical and scientific relationship between Ernst Mach and William James, in Preston (dir.), *op. cit.* in n. 11, 103-122.

64 - Ursula Baatz, Ernst Mach and the World of Sensations, in Stephen E. Bronner et F. Peter Wagner (dir.), *Vienna : The World of Yesterday, 1889-1914* (Atlantic Highland [N.J.] : Humanities Press, 1997), 85.

65 - Thomas Uebel, *op. cit.* in n. 11, 84.

liberté d'esprit et une indépendance de jugements radicales, ait reconnu que sa pensée pouvait être, à juste titre, qualifiée de « pragmatique », ou en tout cas rapprochée du pragmatisme : « J'ai lu ce livre [il s'agit de *Pragmatism*, de William James] à la hâte, du début à la fin, avec beaucoup d'intérêt, pour y revenir plus tard. Bien que je sois, du fait de ma formation, un scientifique et absolument pas un philosophe, je suis néanmoins très proche du pragmatisme dans ma façon de penser, sans pour autant jamais avoir utilisé ce terme⁶⁶. » Les éléments de pragmatisme sont nombreux dans la pensée de Mach, et il n'est pas question ici de les exposer tous. Nous avons déjà fait ce travail pour les concepts⁶⁷. D'autres commentateurs l'ont fait pour le principe d'économie de pensée. De manière générale, le physicien autrichien estime que la pensée sert toujours, que ce soit directement ou indirectement, des buts pratiques (biologiques, à vrai dire, ceux de l'orientation la plus complète possible et donc de l'optimisation des chances de survie⁶⁸), en plus des buts strictement théoriques. La science lui apparaît comme « une sorte de collection d'instruments » (*als eine Art von Instrumentensammlung*) permettant aux hommes de compléter par la pensée les faits partiellement observés, ou de limiter leurs attentes concernant les cas qui se présenteront à l'avenir⁶⁹. Cette dernière fonction est assurée par les lois de la nature. La première par les *Gedankensymbole* que l'intellect scientifique surajoute aux faits afin de se les rendre intelligibles. Ces *Denkmitteln*⁷⁰ permettent une « épargne » d'énergie – ils sont plus aisément manipulables que les faits – et nous octroient une « maîtrise logique » (*logische Herrschaft*⁷¹) sur une réalité de nature héraclitéenne et protéiforme. Les commentateurs ont beaucoup insisté sur l'instrumen-

66 - Joachim Thiele (éd.), *Wissenschaftliche Kommunikation : Die Korrespondenz Ernst Machs* (Kastellaun : Henn, 1978), 174-175. William James avait lui-même considéré, dans une lettre à F. C. S. Schiller du 16 janvier 1906, que *Erkenntnis und Irrtum* représentait un « excellent travail, plein de sagesse et très pragmatique » (*excellent wise stuff, and very pragmatic*, cité par Klein, *op. cit.* in n. 63, 106).

67 - Dans un article à paraître prochainement dans la revue *Philosophia scientiæ*, qui est en réalité une introduction à la traduction d'un chapitre des *Prinzipien der Wärmelehre* intitulé « La comparaison en tant que principe scientifique ».

68 - Sur cette « mission biologique » que remplit la science, voir Mach, *op. cit.* in n. 16, 37.

69 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 465.

70 - Sur l'importance de ce concept pour William James, voir Gori, *op. cit.* in n. 63, 163; Klein, *op. cit.* in n. 63, 111 sq.

71 - Mach, *op. cit.* in n. 9, 36-37; *id.*, *op. cit.* in n. 14, 395.

talisme de cette épistémologie conduisant nécessairement, selon certains d'entre eux, à un anti-réalisme radical. Il faut résister à cette conclusion, qui ne s'impose pas. Les expédients que le chercheur forge de manière *selbsttätig* ou emploie afin de faciliter ses descriptions des phénomènes naturels ne sont pas sans rapport avec eux, et ne font pas que satisfaire des besoins ou des intérêts purement *subjectifs*. La position instrumentaliste-pragmatiste qui est celle de Mach se révèle, à l'examen, parfaitement compatible avec une forme de réalisme scientifique⁷².

La science en tant qu'exposition et la science en devenir

Puisque la science n'est pas, avant tout, un discours ou une structure d'énoncés, mais une activité indissolublement corporelle et intellectuelle, le physicien autrichien n'a jamais voulu l'appréhender du seul point de vue de son expression linguistique ou de sa forme logique. S'il l'a fait⁷³, cela a toujours été en reconnaissant les limites ou les insuffisances de cette approche. Il lui semblait que la « forme de la présentation » des résultats scientifiques conduisait le plus souvent à occulter les « voies de la recherche » effectivement suivies par les scientifiques⁷⁴. Il donnait en exemple les *Éléments* d'Euclide, dont l'exposé purement déductif ne permettait pas de comprendre de quelle *manière* le géomètre était parvenu à ses conclusions. La clarté apparente de la présentation masque les difficultés rencontrées au cours du processus de connaissance. Ce sont elles qu'il faut restituer, et la façon dont elles ont été progressivement et partiellement vaincues. L'historien-psychologue aguerri dévoile la simplicité apparente de la présentation des résultats acquis comme pseudo-simplicité. Elle fait signe pour lui vers une complexité initiale, vers un enchevêtrement de conditions et de circonstances que le chercheur a dû débrouiller au moyen d'un certain nombre d'opérations mentales. Mach s'en prend, pour la même raison, à ses collègues enseignants qui, dans l'exposé de leur cours, surévaluent le moment

72 - Gori, *op. cit.* in n. 63, 158; Pietro Gori, The perspectival realist features of Ernst Mach's critical epistemology, *Journal for general philosophy of science*, 54/1 (2023), 105. P. Gori s'appuie sur les travaux de Sami Pihlström pour montrer que le pragmatisme en général (donc celui de James et Dewey également) est compatible avec une forme de réalisme scientifique.

73 - Voir notamment Mach, *op. cit.* in n. 14, 234-235.

74 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 207.

logique au détriment du moment psychologique, et présentent comme évidents des principes qui ont exigé, pour être découverts, des millénaires de labeur intellectuel. Il lui semble bien plus profitable, pédagogiquement, de permettre à l'élève de « deviner l'ignorance, les doutes et les erreurs qui ont régné pendant des siècles sur maintes questions, ainsi que les difficultés avec lesquelles les hommes de science les plus éminents sont parvenus à des résultats qui paraissent aujourd'hui si simples⁷⁵ ». Il fustige la « rigueur mal appréciée » dont font souvent preuve savants et enseignants, dans la mesure où elle va contre « l'intérêt de la science » : elle ne permet pas de comprendre comment les chercheurs sont effectivement parvenus à la vérité et comment nous pouvons nous-mêmes, en les prenant pour modèle, espérer l'atteindre. L'histoire et la psychologie permettent seules de restituer les tribulations d'une pensée qui ne se meut jamais le long de voies logiques parfaitement « lisses » (*glatt*). Les chemins qu'elle emprunte pour atteindre le vrai sont, le plus souvent, tortueux et détournés ; son parcours est heurté, chaotique, ambulatoire⁷⁶. Ainsi, Mach nous invite à sinuer avec lui « le long des sentiers tortueux du hasard historique et logique », plutôt que de chercher à emprunter immédiatement « les droits chemins conduisant aux hauteurs depuis lesquelles l'on peut embrasser du regard tout le flux des faits⁷⁷ ». Abandonnant la traditionnelle *Erkenntnistheorie* des (néo)kantiens, le physicien autrichien déploie une réflexion *erkenntnispsychologisch* et *historisch-kritisch* qui doit permettre de retracer l'*itinerarium mentis in veritatem*, soit la manière dont la vérité devient possession de la psyché. Il observe « avec amour l'évolution des différentes sciences » et suit « à la trace tel ou tel pionnier, allant jusqu'à forcer l'intimité de son cerveau⁷⁸ ». Dans une conférence donnée à Graz en 1866, consacrée à l'étude de la vitesse de la lumière, il retrace la façon dont Galilée, Franklin et Grimaldi sont parvenus à leurs résul-

75 - Cité par Adolf Hohenester, Ernst Mach als Didaktiker, Lehrbuch- und Lehrplan-verfasser, in Haller et Stadler (dir.), *op. cit.* in n. 17, 155. Voir également Ernst Mach, Über das psychologische und logische Moment im naturwissenschaftlichen Unterricht, *Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht*, 4 (1890/1891), 1.

76 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 26.

77 - Mach, *op. cit.* in n. 15, 201.

78 - Albert Einstein, Ernst Mach, in Albert Einstein, *Œuvres choisies*, vol. 5, *Science, éthique, philosophie*, trad. E. Aurenche et al. (Paris : Éditions du Seuil, 1991), 225-226.

tats dans ce domaine. Les détours, les dédales, les impasses, les rebroussements de chemin, bref les voies accidentées qu'ils ont suivies pour parvenir à la vérité sont peut-être encore plus intéressants que la vérité elle-même. À la lecture de leurs traités, l'on se rend alors compte que même la pensée la plus «rationnelle» émerge sur fond d'irrationnel, de mythe, de magie, etc., sans l'aide desquels elle n'aurait tout simplement pas pu débiter : «la science de la nature a débuté dans la cuisine des sorcières» (*Die Naturwissenschaft hat in der Hexenküche begonnen*), comme l'écrit Mach⁷⁹. Ce qui ne veut pas dire qu'elle doive y rester, évidemment. S'il est vrai que le chercheur se trouve toujours «au milieu de l'évolution» et de l'histoire, qu'il doit par conséquent se rattacher aux connaissances imparfaites acquises par ses prédécesseurs⁸⁰, il doit aussi les corriger ou les abandonner par la suite.

À la rigueur mal placée de certains savants-enseignants, à la «cachotterie» dont font preuve les Anciens qui, le plus souvent, nous ferment tout simplement leur atelier (*Werkstätte*) de recherche, Mach oppose la grande *Offenheit* des scientifiques classiques, ces «grands hommes naïfs», qui, dans leurs exposés, signalent explicitement les voies qu'ils ont suivies. La lecture de leurs textes doit nous permettre d'identifier les «motifs particuliers» ou les «points de vue directeurs» qui les ont guidés et ainsi de comprendre aussi bien leurs succès que leurs échecs et, plus généralement, de voir comment la connaissance croît⁸¹. C'est cette «science en devenir», soumise aux accidents et aux vicissitudes de l'histoire, qui l'intéresse, et non la science «en tant qu'exposé», que l'on peut espérer reconstruire rationnellement – ou axiomatiser – une fois qu'elle a atteint un état plus ou moins stable⁸². Mach, en bon historien des sciences, concentre son attention sur les «petits combats qui font les grandes batailles» et qui, après coup, tant bien que mal, «sont résumés dans les plans d'opération des théoriciens⁸³». Il cherche à ressaisir la connaissance dans sa vie propre, dans sa mobilité essentielle, et non dans sa

79 - Mach, *op. cit.* in n. 15, 83.

80 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 23.

81 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 1.

82 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 258.

83 - Gaston Bachelard, *Essai sur la connaissance approchée* (Paris : Vrin, 1968), 25.

« traduction en une science codifiée et volontairement impersonnelle ⁸⁴ ».

Même si tous les membres du Cercle de Vienne n'ont pas conduit leurs recherches de manière *anhistorique* ⁸⁵, il ne fait aucun doute que la plupart d'entre eux a ignoré ou s'est détourné de ces « petits combats » pour se consacrer entièrement à la formalisation ou à la reconstruction rationnelle des théories scientifiques. Des deux versants de la méthode *historisch-kritisch* de Mach, le premier a été systématiquement négligé au profit du second. Dans l'entre-deux-guerres, Émile Meyerson avait été l'un des premiers à relever l'intérêt des travaux de Mach, qui témoignaient, écrivait-il, d'un « effort soutenu, précisément dans le domaine historique ». Il lui semblait étrange, et pour tout dire inexplicable, que « ce côté pourtant si méritoire de son activité » ait si peu retenu l'attention de ceux qui se réclamaient pourtant de lui : « L'École de Vienne, qui le considère comme son ancêtre spirituel, [...] néglige à peu près totalement la recherche historique, domaine où cependant Mach a grandement l'avantage sur le véritable initiateur du mouvement ⁸⁶. » Nous nous interrogerons, dans les sections suivantes, sur l'intérêt et la valeur que peuvent encore avoir les analyses historiques de Mach concernant la pensée scientifique. Il est bien possible, en tout cas, que les membres du Cercle de Vienne se soient réclamés des « mauvais livres » (*wrong books*) du physicien autrichien, c'est-à-dire, principalement, de *L'Analyse des sensations* – réduit le plus souvent aux chapitres d'introduction et de conclusion. S. Toulmin, qui faisait cette suggestion, ajoutait que si les positivistes logiques avaient porté plus d'attention aux « histoires conceptuelles » de Mach, « ils auraient peut-être fait des déclarations moins radicales au nom de la logique mathématique et auraient peut-être accordé moins de place à l'élément formel

84 - *Ibid.*, 260. On trouve une même conception *dynamique* du savoir chez Jacques Schlanger, dans sa très stimulante *Théorie du savoir*.

85 - Il n'y a qu'à penser, par exemple, aux travaux d'Edgar Zilsel. Pour une présentation en français, on pourra lire Elisabeth Nemeth, L'épistémologie et l'histoire de la science : Quelques remarques sur le projet d'Edgar Zilsel, in Mélika Ouelbani (dir.), *La Philosophie autrichienne : Spécificités et influences* (Tunis : Éditions de l'Université de Tunis, 2000), 95).

86 - Émile Meyerson, De l'analyse des produits de la pensée, *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, 118 (1934), reprod. in Émile Meyerson, *Essais*, texte revu par Bernadette Bensaude-Vincent (Dijon : Éd. universitaires de Dijon, 2008), 133-134.

dans leurs propres philosophies des sciences⁸⁷ ». Mis à part quelques exceptions notables, ils avaient préféré considérer la science comme un ensemble d'énoncés plutôt que comme un phénomène tout à la fois naturel et culturel, biologique et social, individuel et collectif.

Le refus du formalisme

La valeur d'une approche psychobiologie de la connaissance

À Husserl qui lui reprochait de n'avoir pas situé son analyse de la connaissance sur le terrain de la logique *pure*⁸⁸, Mach répondait modestement qu'une « théorie de la théorie » ou une « science de la science » lui avait paru, en raison de son abstraction, une tâche au-delà de ses moyens⁸⁹. Ce n'était pas seulement l'aveu d'une impuissance. C'était également, plus positivement, la reconnaissance de ce qu'une approche psychobiologique de la connaissance pouvait avoir de fécond : « Même si l'analyse logique de toutes les sciences nous était présente, entièrement finie, la recherche bio-psychologique de leur évolution resterait toujours pour moi un besoin, ce qui n'exclurait pas que l'on analysât de nouveau ces dernières recherches au point de vue logique⁹⁰. » Il faut d'emblée clarifier ce que Mach entendait par « analyse logique ». Il n'ignorait pas cette discipline et connaissait les tra-

87 - Stephen E. Toulmin, From logical analysis to conceptual history, in Peter Achinstein et Stephen F. Baker (dir.), *The Legacy of logical positivism* (Baltimore : Johns Hopkins Univ. Press, 1969), 50. On trouve des mots encore plus durs sous la plume de P. Feyerabend, qui estime que la critique des positivistes et de leurs adversaires anxieux – les rationalistes critiques – procédait de certains ingrédients figés de la philosophie de Mach (ou de sa modification) qui ne pouvaient plus être atteints par le processus de recherche. La critique de Mach était dialectique et féconde, celle des philosophes était dogmatique et sans fruit. Elle mutilait la science au lieu de la faire progresser » (Paul Feyerabend, *Philosophical papers*, vol. 2, *Problems of empiricism* [Cambridge Univ. Press, 1981], 86).

88 - Et d'être tombé dans une forme de *biologisme*, si ce n'est de *psychologisme*.

89 - Mach part toujours du particulier pour s'élever au général, et non l'inverse (Mach, *op. cit.* in n. 14, 151-152).

90 - Mach, *op. cit.* in n. 9, 463. Ces deux approches ne s'excluent pas mais sont complémentaires. Mach a mis l'accent sur l'une, Husserl sur l'autre. Les deux hommes reconnaissaient que leurs recherches se *complétaient* plutôt qu'elles s'opposaient (lettre de Husserl à Mach du 18 juin 1901, in Joachim Thiele, Ein Brief Edmund Husserls an Ernst Mach, *Zeitschrift für philosophische Forschung*, 19/1 [1965], 135).

vaux de Stöhr, Boole, Couturat et même ceux de Russell⁹¹, qu'il cite dans *Erkenntnis und Irrtum*⁹². Néanmoins, il en avait une conception pré-frégéenne, somme toute assez traditionnelle – si ce n'est « primitive », comme l'écrit J. Preston⁹³. Ses références sont le *System of Logic* de J. S. Mill, les *Principles of Science* de W. S. Jevons, le *System der Logik als Kunstlehre des Denkens* de F. E. Beneke. Mach insiste sur le fait que ce dernier ouvrage ne propose pas une simple logique formelle (*keine bloße formale Logik*), mais contient « d'importantes recherches psychologiques qui n'ont malheureusement pas reçu l'attention qu'elles méritaient⁹⁴ ». Il est vrai qu'il présente, dans *Erkenntnis und Irrtum*, le langage de signes (*Zeichensprache*) inventé par les mathématiciens comme une « logique symbolique de grande valeur⁹⁵ », qui permet de considérer « la pensée en tant que telle » et de présenter les formes abstraites que prennent les opérations intellectuelles⁹⁶ (*Denkhandlungen*). La « grande valeur » de ce symbolisme réside évidemment dans l'économie de pensée considérable qu'il rend possible. Mach l'appréhende avant tout comme un outil au service de finalités biologico-pratiques et semble ainsi en méconnaître la dimension créatrice – ce qu'Einstein ne lui pardonnera pas. Pour ce qui est de l'analyse logique, elle satisfait un besoin *formel*, celui de la mise en forme *a posteriori* des pensées ; autrement dit, elle remplit une fonction essentiellement organisatrice (*ordnend*) et simplificatrice (*vereinfachend*⁹⁷). Cette

91 - Quarante années environ séparent *L'Analyse des sensations* de Mach (1886) de *L'Analyse de l'esprit* (1921) et de *L'Analyse de la matière* (1927) de Russell. Un même esprit – empiriste, disons – anime certainement ces recherches, mais le terme d'« analyse » a complètement changé de sens. Chez Mach, elle est psychophysique et concerne la façon dont les vivants interagissent – sur un mode cognitif, mais pas seulement – avec leur environnement ; chez Russell, elle est logique et a pour but de « mettre au jour la signification et le contenu des énoncés, dans la mesure où ils sont obscurcis par la forme que leur donne le langage usuel... » (Pierre Wagner, Carnap et la logique de la science, in Pierre Wagner (dir.), *Les philosophes et la science* [Paris : Gallimard, 2002], 253).

92 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 191.

93 - John Preston, Mach, Wittgenstein, science and logic, in Stadler (dir.), *op. cit.* in n. 63, 77. Cela explique que les membres du Cercle de Vienne aient cherché à combler les insuffisances logiques de l'empirisme machien à l'aide des idées formulées par Poincaré et Duhem d'une part, et en le reliant aux recherches de Couturat, Schröder, Hilbert, Russel, Wittgenstein, etc., d'autre part (Philipp Frank, *Modern science and its philosophy* [Harvard University Press, 1949], 11-12).

94 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 191, note de bas de page.

95 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 191.

96 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 190.

97 - Mach, *op. cit.* in n. 16, 309.

Anordnung permet d'éliminer les contradictions qui subsistent entre les pensées et ainsi de les exprimer de la manière la plus claire et la plus économe possible. C'est une partie essentielle de la science, qui ne saurait se contenter de la «présentification intuitive et vivante des faits⁹⁸». Néanmoins, Mach remarque aussi que l'adaptation dépasse de loin l'absence de contradictions logiques : la pensée est riche d'autres déterminations, d'autres exigences à satisfaire que les exigences logiques. Il s'agit évidemment d'exigences psychobiologiques : l'éparpillement de l'attention, la surcharge de la mémoire, etc., sont ressenties de façon désagréable, *même lorsque toutes les contradictions ont disparu*. Mach veut faire droit à des «besoins biologiques» qui vont bien au-delà de la simple mise en ordre des pensées⁹⁹.

Histoire et psychologie de la découverte

Pourquoi l'analyse psychobiologique demeurera-t-elle toujours un «besoin» pour Mach? Pourquoi l'analyse logique ne saurait la remplacer? Par ses multiples enquêtes, conduites aussi bien dans le domaine des sciences empiriques que dans celui de leur histoire, Mach s'était convaincu que la pensée ne progresse pas le long de voies parfaitement «lisses». Afin d'illustrer cette idée, déjà exposée plus haut, prenons l'exemple de Galilée, et de la façon dont il a découvert la loi d'inertie. Ernst Friedrich Apelt, dans sa *Theorie der Induction*, affirme qu'il y est parvenu par une simple réflexion : cette loi se comprend d'elle-même (*es versteht sich von selbst*) dès lors que, dans le mouvement d'un corps, nous faisons abstraction de toute influence d'éléments extérieurs. Ainsi, elle se serait «imposée d'elle-même» à l'esprit de Galilée. Elle ne paraît pas aussi évidente aux yeux de Mach. L'histoire et la psychologie nous enseignent plutôt que «la pensée ne se meut pas d'elle-même dans des voies logiques aussi dépourvues d'obstacles; des cas variés et répétés, toutes sortes de difficultés, lors de réflexions qui s'entrecroisent et se contredisent, doivent presque *contraindre* à l'abstraction¹⁰⁰». La logique donne une image extrêmement simplifiée de la cognition. Si la découverte de la loi d'inerte se fait aussi aisément,

98 - Mach, *op. cit.* in n. 75, 2.

99 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 185.

100 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 147.

chez Apelt, c'est qu'elle se déploie sur un plan proprement *irréel*, sans résistance matérielle ni contradiction intellectuelle. Selon Mach, à l'inverse, l'accord des pensées avec les faits et des pensées entre elles doit être *extorqué*. Le chercheur lutte contre son environnement mais aussi et surtout *contre lui-même*¹⁰¹ : « Ce que l'investigateur ne sait pas, c'est que la bataille la plus dure, dans la transformation de ses idées, est menée avec *lui-même*. »

L'enquête historico-psychologique révèle que la découverte de nouvelles connaissances n'est pas si simple qu'Apelt le prétend. Elle ne relève pas d'une simple vision, sans effort, sans lutte préalable. Elle ne consiste jamais à appliquer quasi mécaniquement des « schémas » logiques, comme celui de l'induction ou de la déduction. Sur ce point, Mach se détache de la tradition empiriste-positiviste à laquelle il est généralement rattaché. Celui qui est engagé dans la recherche – ou qui étudie l'*histoire* de celle-ci – a vraiment « du mal à croire que les découvertes se produisent selon le schéma aristotélicien ou baconien de l'induction (par l'énumération de cas concordants). La découverte serait, somme toute, un métier bien confortable¹⁰² [*Da wäre ja das Entdecken ein recht behagliches Handwerk*]. » Par conséquent, Mach s'étonne que les scientifiques et les philosophes qui se sont intéressés aux méthodes de recherche se soient à ce point concentrés sur l'induction et l'aient considérée comme le moyen principal de la recherche, « comme si les sciences n'avaient pas d'autre occupation que de classer directement les faits particuliers présents sous nos yeux¹⁰³ ». Non, la tâche du chercheur ne s'épuise pas dans la consignation servile des faits particuliers, dans leur colligation, comme si la règle générale devait en jaillir magiquement. L'induction est si peu essentielle à la science qu'il faudrait même cesser de caractériser les sciences empiriques comme des sciences « inductives¹⁰⁴ ». Mach va jusqu'à affirmer qu'elle est tout aussi stérile que le syllogisme « en ce qui concerne l'apport de nouvelles connaissances¹⁰⁵ ». Le lecteur s'étonnera certainement qu'un « empiriste » comme Mach nie de manière si brutale les droits de l'induction. C'est que son empirisme est bien singu-

101 - Mach, *op. cit.* in n. 15, 64.

102 - Mach, *op. cit.* in n. 10, 495.

103 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 323.

104 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 323.

105 - Notizbuch B. 48 du 28 novembre 1904, in NL 174/0552, 4, <https://digital.deutsches-museum.de/item/NL-174-0552/> (consulté le 9 novembre 2023).

lier : les concepts, les lois et les théories ne sont pas simplement « tirés » des faits comme s'ils y étaient déjà contenus, mais ils réclament l'intervention la pensée dans toute sa « spontanéité ». Celle-ci n'enregistre ou ne catalogue pas servilement des positivités : elle les reconstruit (*nachbilen*) avec une certaine liberté ¹⁰⁶.

Pourquoi la science ne saurait-elle se réduire à l'application quasi mécanique de « schémas » inductifs ou déductifs, à une simple « routine » logique ? Pourquoi n'y a-t-il rien de tel que des *méthodes* d'invention ? Premièrement, la difficulté réside davantage, aux yeux de Mach, dans la découverte des éléments déterminants du complexe ABCD que l'on étudie, que dans la forme du raisonnement. Si l'on reconnaît qu'un élément D dépend d'un élément A – que ce soit avec ou sans l'aide des schémas de Bacon ou de Mill –, alors seul le travail le plus provisionnel (*Allervorläufigste*) est réalisé. C'est seulement maintenant que débute la recherche la plus importante, celle qui porte sur la nature de la dépendance ¹⁰⁷. Pour la connaître, il faut mettre en œuvre des capacités *extra-logiques* : un instinct puissant, une imagination vive, une intuition fine, etc., autant de capacités qui ne se développent pas sans une riche expérience. Mach a particulièrement insisté sur l'*erschauen* : c'est là que se situe la véritable source de connaissances pour le chercheur, et non dans l'induction ¹⁰⁸. L'intuition permet de trouver ou découvrir les caractéristiques importantes des faits observés et leurs relations ¹⁰⁹. Mach ne comprend sous ce concept aucune faculté « mystique », mais seulement la saisie immédiate et évidente, sur fond d'une riche expérience, d'un contenu cognitif dans toute la complexité de ses déterminations et de ses relations avec d'autres contenus.

Deuxièmement, le physicien autrichien accorde une place de choix, dans sa « cosmologie », à l'accident (*Zufall*). « La nature n'est jamais présente qu'une fois. » Seule « notre reconstruction schématique » produit des cas *identiques* ¹¹⁰. Il est vain de vouloir appliquer à une nature aussi imprévisible que protéiforme des schémas préétablis et figés, prêts à l'emploi : « Les mo-

106 - Mach, *op. cit.* in n. 15, 475-476.

107 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 294-295

108 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 323.

109 - Mach, *op. cit.* in n. 10, 495.

110 - Mach, *op. cit.* in n. 15, 191.

dèles de la logique *formelle* et *inductive* ne peuvent être d'une grande utilité, car les situations intellectuelles ne se répètent pas exactement ¹¹¹. » Le donné déborde le logique et nous force à réadapter sans cesse les cadres avec lesquels nous l'appréhendons. Comme l'écrivait Bachelard, devant la nature, l'heure de la généralisation absolue, définitive, n'est jamais sonnée. Cela a une conséquence importante pour la recherche. En un sens, elle ne peut s'enseigner. Il y a aussi peu de maîtres de la découverte scientifique qu'il y a de maîtres de la vertu. La science ne s'enseigne et ne se transmet que comme une chose morte, arbitrairement figée et arrêtée en un certain stade de son évolution (c'est ce que Mach appelle la science « en tant qu'exposition »). Pour le chercheur, qui est concrètement aux prises avec des problèmes qui ne lui laissent aucun repos, elle ne peut qu'être cette chose *en devenir*, changeante, qui se soustrait partiellement aux divers efforts de formalisation (c'est ce que Mach nomme « science en devenir »). Elle réclame l'exercice du jugement qui, comme on le sait, est un talent particulier qui ne peut se transmettre par l'enseignement, mais qui peut seulement être « exercé » (*geübt*). Comme l'écrit Jocelyn Benoist, « le jugement n'est certainement pas chose du monde la mieux partagée ¹¹² ». Au contraire, il faut le *cultiver*. Comment cela se fait-il ? En s'inspirant des réalisations (*Leistungen*) des grands chercheurs du passé qui, dûment méditées, constituent des ressources précieuses afin de lever les difficultés rencontrées au présent.

Une méthodologie de l'exemple

Que pouvons-nous faire si nous ne disposons pas d'un ensemble parfaitement codifié de règles formelles pour guider notre recherche ? Mach ne se prétendait-il pas *méthodologue* des sciences ¹¹³ ? Qu'est-ce qu'une méthodologie qui ne nous aide pas à nous y retrouver dans « l'enchevêtrement des faits » ? À défaut de recettes prêtes à l'emploi et à employer mécaniquement, nous disposons de *modèles* à suivre ¹¹⁴ : « Il faut souligner

111 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 210.

112 - Jocelyn Benoist, Appliquer ses concepts, in Jean-Marie Vaysse (dir.), *Kant* (Paris : Les Éditions du Cerf, 2008), 93.

113 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 21.

114 - Mach, *op. cit.* in n. 14, préface à la 1^{re} éd., 1-2.

que la pratique de la recherche, pour autant qu'elle puisse être acquise, est bien plus favorisée par de vivants exemples particuliers [*einzelne lebendige Beispiele*] que par des formules abstraites désincarnées [*abgeblasste abstrakte Formeln*] [...].» La recherche ne se met pas en formules. Le méthodologue n'a pas pour tâche de les compiler afin de constituer un «livre de règles mécaniques pour la résolution de problèmes¹¹⁵». La méthodologie machienne est une galerie d'exemples vivants, d'entreprises ayant réussies ou échouées – l'on apprend aussi de nos erreurs –, des méthodes et des activités psychiques déployées à leur occasion. Elle compense son défaut de formalisation ou d'abstraction par un surcroît d'attention à la pratique concrète des chercheurs, au savoir-faire quasi artisanal qu'ils mettent en œuvre, aux intérêts particuliers qu'ils poursuivent, à la configuration spécifique de leur vie mentale, à la situation historico-sociale déterminée depuis laquelle le problème qu'ils doivent résoudre se pose. En l'absence d'un code de règles formalisées ou de métarègles nous disant comment juger dans les cas particuliers¹¹⁶, elle nous livre des modèles à suivre, des incarnations vivantes de la règle appliquée avec réussite : «Ce sont surtout des scientifiques comme Copernic, Gilbert, Kepler, Galilée [...] qui, grâce à leurs descriptions, ont rendu de véritables services à celui qui s'initie aux sciences de la nature¹¹⁷.» Une bonne partie du travail de Mach, que ce soit dans ses ouvrages *historisch-kritisch* ou dans ses nombreuses remarques pédagogiques, consiste justement à (insister sur la nécessité de) *faire voir*, de façon aussi claire que «vivante», «sans aucune emphase¹¹⁸», les processus-procédés qui ont permis aux fondateurs de la mécanique, de l'optique, de la théorie de la chaleur, etc., de réaliser leurs découvertes. Ce *faire-voir* est en réalité un *faire-vivre*, un *participer-à* ou un *assister-à* : «Je serais satisfait si chaque jeune homme ou jeune femme avait, pour ainsi dire, assisté à (*miterlebt*) un petit nombre de découvertes mathématiques ou physiques et les avait suivies dans

115 - Imre Lakatos, History of science and its rational reconstructions, in Hacking (dir.), *op. cit.* in n. 53, 108 ; mais ce n'est pas non plus une méthodologie au sens moderne du terme, c'est une théorie de la rationalité scientifique.

116 - Comme l'écrit Jocelyn Benoist, «il n'y a pas de règle qu'on puisse appliquer pour appliquer une règle» (Benoist, *op. cit.* in n. 112, 95).

117 - Mach, *op. cit.* in n. 14, préface à la 1^{re} édition, 1-2.

118 - Mach, *op. cit.* in n. 14, 234-235.

toutes leurs conséquences¹¹⁹.» En tant qu'écrivain, enseignant et conférencier, Mach se sera précisément donné pour objectif de *faire vivre* à ses lecteurs et à ses auditeurs les découvertes réalisées par les grands savants, *comme si* ils y avaient assisté. Ainsi pourront-ils *voir* comment l'on parvient effectivement à la connaissance. La comparaison répétée de mouvements uniformément *ralentis* a conduit Galilée à intuitionner (*erschauen*) l'existence d'un mouvement *uniforme* et *sans fin*¹²⁰. Archimède est lui aussi capable d'apercevoir le simple dans le complexe. Franklin doit plutôt ses découvertes à une puissance capacité d'imagination; Maxwell réalise les siennes en faisant intervenir l'analogie. De manière plus générale, c'est la cohabitation, en un même individu, d'un «instinct très fort» et d'une «très grande puissance d'abstraction¹²¹», qui fait un grand chercheur. Comme on le voit, il s'agit là d'autant de facultés – en un sens psychologique, évidemment – de la connaissance que Mach se garde bien d'hypostasier. Évidemment, des facultés ne se transmettent pas; c'est leur application remarquable qui, elle, peut faire exemple. Mach n'invite pas les jeunes chercheurs à imiter les admirables *Leistungen* de leurs aînés¹²². Ils doivent plutôt *comprendre* comment ces derniers ont exercé avec succès leur faculté de juger et à «reconnaître les aspects généraux contenus dans l'exemple concret et à les adopter dans un cas différent, mais qui lui correspond¹²³ (*fitting*)». Ce qui était, chez Kant, le symptôme d'une faculté de juger n'ayant pas suffisamment de *talent* pour *juger par elle-même* et devant s'appuyer, comme l'enfant, sur un «trotteur» (*Gängelwagen*), reçoit une valeur positive chez Mach. L'exemple dûment médité peut inspirer une solution à un problème rencontré dans des circonstances qui ont nécessairement varié. Le talent ne consiste pas à se passer d'exemple mais à les employer avec sagacité afin de cultiver et d'aiguiser sa faculté de juger.

119 - Mach, *op. cit.* in n. 15, 279.

120 - Mach, *op. cit.* in n. 9, 486.

121 - Mach, *op. cit.* in n. 9, 33.

122 - Dans les exemples le nécessaire se mêle toujours au superflu, si bien qu'il faut être capable de *discriminer* ce qu'il est *pertinent* de réemployer dans la ré-occurrence d'une situation qui, encore une fois, ne revient jamais exactement à l'identique.

123 - Gereon Wolters, Positivist imagination : Ernst Mach's topics of research, in Pierre Buser, Claude Debru et Aandres Kleinert (dir.), *L'Imagination et l'intuition dans les sciences* (Paris : Hermann, 2009), 51.

Conclusion

L'épistémologie contemporaine manifeste un regain d'intérêt pour la dimension *pratique* de la *recherche* scientifique. Après le *linguistic turn*, un *practical turn* s'opère à nouveau en philosophie des sciences. Par-delà les conceptions syntaxiques et sémantiques, par-delà les entreprises de formalisation et de reconstruction de la science caractéristiques du néopositivisme, on en revient à une approche beaucoup plus attentive au travail *concret* des chercheurs – dans toute la variété de leurs situations et de leurs déterminations particulières, politico-sociales notamment. La science ne se définit plus comme un *knowing-that*, mais comme un *knowing-how* – un savoir-faire, une habileté, un tour de main sur le modèle artisanal, un jugement exercé. Marion Vorms, par exemple, a récemment insisté sur le fait que les scientifiques n'appliquent pas, de façon *hypothético-déductive*, des théories au monde des phénomènes. Ils opèrent à l'aide de *modèles* qui ne sont pas simplement des *structures mathématiques abstraites* mais aussi et avant tout des dispositifs concrets (*concrete devices*). Leur élaboration et leur utilisation nécessitent « des compétences (*skills*) qui ne peuvent être réduites à la simple mise en œuvre de règles logiques, mais qui incluent plutôt l'invention, l'imagination et l'exécution de procédures empiriques (*rules of thumb*). Ainsi, dans la mesure où elle est centrée sur des pratiques de modélisation, la théorisation scientifique ne peut pas être entièrement capturée par une reconstruction formelle¹²⁴. » On trouvera dans Mach, en particulier dans *Erkenntnis und Irrtum* et dans ses *Populär-Wissenschaftliche Vorlesungen*, de nombreuses réflexions sur cette « théorisation scientifique » telle qu'elle s'enracine dans le corps et se démultiplie en autant d'activités psychologiques. Elles confortent la conclusion de M. Vorms selon laquelle la résolution des problèmes que rencontrent les scientifiques nécessite la mise en œuvre de capacités extra-logiques et ne peut être intégralement capturée et restituée par l'entreprise de formalisation chère aux néopositivistes.

124 - Vorms, *op. cit.* in n. 58, 212.

La genèse du groupe de renormalisation wilsonien *

Sébastien Rivat **

Résumé : Les méthodes du groupe de renormalisation (GR) sont l'un des chefs-d'œuvre théoriques de la physique d'après-guerre dont les ressorts historiques restent encore largement inappréciés. Cet article retrace la genèse du GR de Kenneth Wilson de 1956 à 1965, en se penchant tout particulièrement sur sa relation avec le GR de Murray Gell-Mann et Francis Low publié en 1954. Je défends la thèse selon laquelle il n'y a, au final, que très peu de continuité méthodologique et conceptuelle entre leurs versions respectives. L'article conclut brièvement sur l'évolution du GR wilsonien de 1965 jusqu'au début des années 1970.

Mots-clés : histoire de la physique au xx^e siècle; théorie quantique des champs; groupe de renormalisation; Kenneth Wilson; Murray Gell-Mann; Francis Low.

Summary: *Renormalisation group (RG) methods are one of the theoretical masterpieces of postwar physics whose historical development still remains largely unexplored. This article traces the origins of Kenneth Wilson's RG from 1956 to 1965, with a particular focus on its relationship to Murray Gell-Mann and Francis Low's RG published in 1954. I argue that there is ultimately little methodological and conceptual continuity between their respective versions. The article briefly concludes with the evolution of the Wilsonian RG from 1965 to the early 1970s.*

Keywords: *history of 20th-century physics; quantum field theory; renormalisation group; Kenneth Wilson; Murray Gell-Mann; Francis Low.*

Introduction

Nous venons de célébrer les cinquante ans du groupe de renormalisation (GR) de Kenneth Wilson et les soixante-dix ans

* Ce travail a été partiellement soutenu par la fondation Volkswagen (projet 9D181).

** Sébastien Rivat, Munich Center for Mathematical Philosophy, Ludwig-Maximilians-Universität München, Geschwister-Scholl-Platz 1, 80539 Munich, Allemagne. Email : sebastien.rivat@lrz.uni-muenchen.de.

de celui de Murray Gell-Mann et Francis Low, dans leur formulation canonique publiée respectivement en 1974 et 1954¹. L'occasion semble propice pour revenir sur ces développements majeurs de l'histoire de la physique contemporaine, et d'autant plus propice qu'ils n'ont pour l'instant reçu que très peu d'attention de la part des historiens. Ceux-ci se sont en effet principalement concentrés sur la première partie du xx^e siècle, et tout particulièrement sur ce qui est aujourd'hui souvent considéré comme les deux pierres angulaires de la physique contemporaine, à savoir la relativité et la mécanique quantique non relativiste². Pour l'œil averti, il ne fait toutefois aucun doute que ce qui s'est passé après 1945 est tout aussi important et révolutionnaire, aussi bien pour notre manière de formuler les théories physiques que de concevoir le monde. Les méthodes du GR, dont Wilson, Gell-Mann et Low sont trois figures incontournables, ont à cet égard joué un rôle fondamental. Elles ont notamment permis aux physiciens – et ce dans la plupart des domaines de la physique contemporaine, de la cosmologie à la gravité quantique – d'étudier systématiquement les systèmes physiques échelle par échelle et d'identifier les conditions sous lesquelles ces systèmes participent parfois tous de manière significative à la production de certains phénomènes physiques.

Je me propose de retracer ici la genèse du GR wilsonien dans les années 1960, en me concentrant tout particulièrement sur sa

1 - Murray Gell-Mann et Francis E. Low, Quantum electrodynamics at small distances, *Physical review*, 95/5 (1954), 1300-1312; Kenneth G. Wilson et John B. Kogut, The Renormalization group and the ϵ -expansion, *Physics reports*, 12/2 (1974), 75-199.

2 - Du côté de la mécanique quantique, voir, par ex., Olivier Darrigol, *From c-numbers to q-numbers : The classical analogy in the history of quantum theory* (Berkeley : University of California Press, 1992); Jagdish Mehra et Helmut Reichenberg, *The Historical development of quantum theory*, 6 vol. (New York : Springer, 2001). Du côté de la relativité, voir, par ex., John Earman, Michel Janssen, et John Norton (dir.), *The Attraction of gravitation : New studies in the history of general relativity* (Boston : Birkhäuser, 1993); Michel Janssen, John Norton, Jürgen Renn, Tilman Sauer et John Stachel (dir.), *The Genesis of general relativity* (Dordrecht : Springer, 2007). Pour quelques exceptions notables concernant la physique d'après-guerre, voir, par ex., Andrew Pickering, *Constructing quarks : A sociological history of particle physics* (Chicago : University of Chicago Press, 1984); Lillian Hoddeson, Laurie Brown, Michael Riordan et Max Dresden (dir.), *The Rise of the standard model : Particle physics in the 1960s and 1970s* (New York : Cambridge University Press, 1997); David Kaiser, *Drawing theories apart : The dispersion of Feynman diagrams in post-war physics* (Chicago : University of Chicago Press, 2005).

relation avec le GR formulé par Gell-Mann et Low en 1954³. Il existe bien quelques travaux historiques préliminaires à ce sujet, notamment de Silvan Schweber et Tian Yu Cao⁴. Leur traitement reste cependant très sommaire et laisse quelque peu en suspens la question cruciale de savoir s'il existe une continuité conceptuelle et méthodologique suffisamment significative entre les travaux de Gell-Mann et Low et ceux de Wilson. Je compte montrer dans ce qui suit que, malgré le fait que Wilson ait eu Gell-Mann comme directeur de thèse de 1958 à 1960, qu'il ait régulièrement interagi avec Low au début des années 1960, et qu'il ait été incontestablement influencé par leur article de 1954, il n'en reste pas moins que la continuité entre leurs travaux demeure très faible. Plus précisément, je compte montrer que Wilson poursuit une méthodologie radicalement différente de celle de Gell-Mann et Low, et fournit une interprétation physique explicite de l'idée de « transformation du groupe de renormalisation » et d'« échelle de renormalisation », contrairement à l'interprétation plutôt formaliste de Gell-Mann et Low en 1954, et ce *indépendamment* de sa rencontre avec la physique des états solides en 1965-1966 (plus connue aujourd'hui sous le nom de physique de la matière condensée). En un mot : nous avons affaire à deux formulations et conceptions du GR très différentes l'une de l'autre en 1954 et 1965, et dont on retrouve aujourd'hui certaines traces dans la théorie moderne du GR.

Quelques remarques préliminaires s'imposent. (i) L'histoire du GR est très riche et ne se réduit en aucun cas aux travaux de Wilson, Gell-Mann et Low. Léo Kadanoff est une autre figure majeure dans le cadre de la physique des états solides⁵. Ernst Stückelberg, André Petermann, Nikolay Bogoliubov et Dmitry Shirkov (entre autres) sont à l'origine d'une tradition plus mathéma-

3 - Voir Gell-Mann et Low, *op. cit.* in n. 1 ; Kenneth G. Wilson, Model hamiltonians for local quantum field theory, *Physical review*, 140/2B (1965), B445-B457.

4 - Voir, par ex., Tian Yu Cao et Silvan S. Schweber, The Conceptual foundations and the philosophical aspects of renormalization theory, *Synthese : An international journal for epistemology, methodology and philosophy of science*, 97/1 (1993), 33-108 ; Silvan S. Schweber, Hacking the quantum revolution : 1925-1975, *The European physical journal H : Historical perspectives on contemporary physics*, 40/1 (2015), 53-149.

5 - Leo P. Kadanoff, Scaling laws for Ising models near T_c , *Physics / Physique / Физика*, 2/6 (1966), 263-272.

tique des méthodes du GR⁶. Les travaux de Wilson, Gell-Mann et Low semblent toutefois avoir eu un impact bien plus significatif sur la physique de la matière condensée et des particules, et apparaissent dès lors comme un point de départ privilégié si l'on veut comprendre le développement conceptuel et méthodologique de la théorie moderne du GR. (ii) J'ai déjà abordé l'histoire des travaux de Wilson de 1956 à 1971 dans un autre article dédié à son premier concept de théorie effective⁷. Bien que mon angle d'attaque soit différent – je compte traiter exclusivement de sa première version du groupe de renormalisation –, cet article recoupe un certain nombre d'éléments discutés ci-dessous et en fournit à certaines occasions une analyse plus détaillée. Les lectrices et lecteurs y seront toutefois référés uniquement lorsque cela sera nécessaire. Pour le reste, le récit ci-dessous se suffit à lui-même. (iii) L'histoire du GR est particulièrement importante pour l'histoire de la physique française d'après-guerre, notamment vis-à-vis des travaux d'Édouard Brézin, Claude Itzykson, Jean Zinn-Justin, Jean-Bernard Zuber, et bien d'autres dans les années 1970-80. Aborder cette histoire m'entraînerait toutefois bien au-delà du contexte historique traité ici. Mais je réfère les lectrices et lecteurs à un récent article de Julia Menzel sur ce sujet⁸.

Le reste de l'article est organisé de la manière suivante. La section 2 retrace les premiers pas de Wilson vers la physique des hautes énergies à travers son travail de thèse. La section 3 clarifie le lien entre ce travail et l'article de Gell-Mann et Low de 1954, et fournit une analyse succincte de certains de ses éléments clés

6 - Ernst Stückelberg et André Petermann, La Normalisation des constantes dans la théorie des quanta, *Helvetica physica acta*, 26 (1953), 499-520; Nikolai N. Bogoliubov et Dmitry V. Shirkov, On the renormalization group in quantum electrodynamics, *Comptes rendus de l'Académie des sciences de l'URSS*, 103 (1955); *idem*, Application of the renormalization group to improve the formulae of perturbation theory, *Comptes rendus de l'Académie des sciences de l'URSS*, 103 (1955); *idem*, *Introduction to the theory of quantized fields* (New York : Interscience Publishers, 1959). Pour plus de détails sur cette tradition, voir Laurie M. Brown (dir.), *Renormalization : From Lorentz to Landau (and beyond)* (Springer, 1993); James D. Fraser, The Twin origins of renormalization group concepts, *Studies in history and philosophy of science*, 89 (2021), 114-128.

7 - Sébastien Rivat, Drawing scales apart : The origins of Wilson's conception of effective field theories, *Studies in history and philosophy of science*, 90 (2021), 321-338.

8 - Julia H. Menzel, Wilsonian renormalization in the 1970s : Labor markets, geopolitics, and the rise of a new theory, *Historical studies in the natural sciences*, 51/5 (2021), 605-633.

afin de faciliter la comparaison avec le GR wilsonien par la suite. La section 4 dépeint l'évolution des travaux de Wilson de 1961 à 1965 et explique la manière dont il en vint à formuler sa première version du GR en 1965. La section 5 analyse les résultats de Wilson à la lumière des travaux de Gell-Mann et Low. La section 6 clôt le récit en revenant brièvement sur l'évolution du GR wilsonien de 1965 jusqu'à sa formulation canonique de 1974, et en expliquant succinctement comment les différences les plus significatives entre le GR de Wilson et de Gell-Mann et Low se retrouvent aujourd'hui dans la théorie moderne du GR.

Un premier pas vers les hautes énergies (1956-1960)

Pour bien comprendre la trajectoire de Wilson et la relation qu'il entretient avec les travaux de Gell-Mann et Low, il est nécessaire de revenir aux années 1950 et à l'intérêt précoce que Wilson porte pour la structure des théories quantiques des champs (TQC) à hautes énergies. Plaçons nous donc en 1956 à Caltech. Wilson vient juste d'avoir été accepté dans le *Graduate Program* du département de physique – l'équivalent américain d'un master et d'un doctorat – après avoir fait ses études de licence à Harvard de 1954 à 1956. Richard Feynman y occupe la position de professeur depuis 1951, après une année sabbatique passée au Brésil, et le jeune Gell-Mann vient juste d'y arriver en 1955, après un passage par Chicago et Columbia.

Bien que la situation va changer rapidement d'ici peu, nous sommes également à une période où la TQC jouit toujours d'une aura considérable et continue d'attirer les étudiants les plus brillants de la physique théorique⁹. Le succès des méthodes de renormalisation perturbatives dans le cadre de l'interaction électromagnétique vers la fin des années 1940 est toujours présent dans les esprits. Il est certes vrai que le comportement à

9 - Pour l'histoire de la TQC jusqu'au début des années 1950, voir, par ex., Olivier Darrigol, « Les Débuts de la théorie quantique des champs : 1925-1948 », thèse de 3^e cycle, Université Paris-1 Panthéon-Sorbonne, 1982; Silvan S. Schweber, *QED and the men who made it : Dyson, Feynman, Schwinger, and Tomonaga* (Princeton University Press, 1994); Alexander Blum, *The State is not abolished, it withers away : How quantum field theory became a theory of scattering*, *Studies in history and philosophy of modern physics*, 60 (2017), 46-80.

hautes énergies de la théorie qui en résulte – l'électrodynamique quantique – est devenu plus incertain aux yeux des physiciens depuis peu¹⁰. Les tentatives d'appliquer les mêmes méthodes aux interactions forte et faible n'ont également pas été aussi fructueuses que prévu : par exemple, dans le cas des modèles relativistes de l'interaction forte les plus réalistes, la valeur physique de la constante de couplage semble être trop grande pour pouvoir appliquer directement les méthodes perturbatives traditionnelles. Malgré cela, les physiciens ont tout de même réussi à développer un certain nombre de modèles phénoménologiques dont le succès est indiscutable. C'est par exemple le cas du modèle de l'interaction forte développé par Geoffrey Chew en 1953-1954¹¹. Et, de manière plus générale, il faut bien noter qu'il n'existe à ce stade pas d'alternative théorique plus probante que la TQC pour tenter de rendre compte des phénomènes subatomiques de manière complète et fondamentale.

Pour simplifier quelque peu, on peut dire que les physiciens qui s'intéressent à la TQC sont confrontés à deux problèmes théoriques fondamentaux au cours des années 1950 : (1) Comment unifier les particules subatomiques – dont le nombre a explosé depuis les années 1940 – ainsi que leurs interactions ? (2) Quelle est la structure des TQC à hautes énergies ? Ces deux problèmes sont, bien entendu, reliés entre eux, comme cela est par exemple particulièrement clair dans la dissertation de Steven Weinberg¹². Ils prennent également des formes légèrement différentes selon le contexte. Par exemple, le problème (2) revient dans sa formulation traditionnelle à résoudre le « problème de la renormalisation », c'est-à-dire, dans le cas le plus simple conceptuellement, à définir une théorie renormalisée qui reste prédictive lorsque l'on envoie à l'infini le paramètre d'énergie qui délimite son domaine (aussi appelé « échelle de coupure » ou *cut-off*). Mais, de-

10 - Pour plus de détails, voir Alexander Blum, manuscrit sur la consistance de la théorie quantique des champs dans la physique d'après-guerre (Cambridge University Press, sous contrat).

11 - Geoffrey F. Chew, Pion-nucleon scattering when the coupling is weak and extended, *Physical review*, 89/3 (1953), 591-593 ; *idem*, Comparison of the cut-off meson theory with experiment, *Physical review*, 95/6 (1954), 1669-1675 ; *idem*, Method of approximation for the meson-nucleon problem when the interaction is fixed and extended, *Physical review*, 94/6 (1954), 1755-1759 ; *idem*, Renormalization of meson theory with a fixed extended source, *Physical review*, 94/6 (1954), 1748-1754.

12 - Steven Weinberg, « The Role of strong interactions in decay processes », thèse de doctorat, Princeton University, 1957.

puis peu, ce problème semble également être intimement lié au problème de comprendre la « structure non perturbative » des TQC, c'est-à-dire leur structure lorsque la valeur de la constante de couplage est trop grande pour pouvoir utiliser les méthodes perturbatives traditionnelles. Les travaux de Gell-Mann et Low, d'une part, et de Lev Landau, Alexei Abrikosov et Isaak Khalatnikov, d'autre part, suggèrent en effet dès 1954 que la constante de couplage nue de l'interaction électromagnétique possède une valeur très grande à hautes énergies et pose donc le même type de problème que l'interaction forte¹³. Il s'avère que Wilson ne porte que très peu d'intérêt pour le problème (1). En revanche, il va rapidement concentrer tous ses efforts sur le problème (2), et ce au moins jusqu'au début des années 1970.

Wilson s'attaque toutefois à ce problème de manière plutôt indirecte dans son travail de thèse. Tout débute par un rendez-vous avec Gell-Mann fin 1958, une fois son programme d'étude (*coursework*) terminé. Gell-Mann lui suggère d'appliquer l'équation de Low à des processus d'interaction entre kaons (ou K-mésons) et nucléons¹⁴. Cette équation, également connue sous le nom d'équation de Chew-Low, n'a pour l'instant été appliquée qu'à des processus d'interaction entre pions et nucléons, et dont l'énergie caractéristique est donc relativement basse comparée aux processus impliquant des kaons¹⁵. Schématiquement, l'équation de Low prend la forme d'une équation intégrale non linéaire reliant l'amplitude pour un processus d'interaction entre mésons et nucléons à une énergie donnée avec toutes les amplitudes du même type, dont les états initiaux et finaux sont identiques mais dont les états intermédiaires possèdent une énergie arbitraire. Il s'agit, en quelque sorte, d'une équation de dispersion. Pour ce qui nous importe ici, il faut noter deux choses. (i)

13 - Voir, entre autres, Gell-Mann et Low, *op. cit. in* n. 1 ; Lev. D. Landau, Alekseï Abrikosov, et Isaak Khalatnikov, On the quantum theory of fields, *Il nuovo cimento*, 3/1 (1956), 80-104. Voir également Blum, *op. cit. in* n. 10, pour plus de détails.

14 - Kenneth G. Wilson, « An investigation of the Low equation and the Chew-Mandelstam equations », thèse de doctorat, California Institute of Technology, 1961, <https://resolver.caltech.edu/CaltechETD:etd-10222002-104500>.

15 - Voir Francis E. Low, Boson-fermion scattering in the Heisenberg representation, *Physical review*, 97/5 (1955), 1392-1398 ; Geoffrey F. Chew et Francis E. Low, Effective-range approach to the low-energy *p*-wave pion-nucleon interaction, *Physical review*, 101/5 (1956), 1570-1579 ; *idem*, Theory of photomeson production at low energies, *Physical review*, 101/5 (1956), 1579-1587. Pour plus de détails, voir Rivat, *op. cit. in* n. 7.

Chew et Low dérivent cette équation à partir de modèles de l'interaction forte relativement simples, les modèles dits à « source fixe » ou « statiques ». Comme leur nom l'indique, ces modèles décrivent les interactions entre les pions et une source statique – un nucléon – avec deux états différents (proton et neutron). (ii) Bien qu'elle soit dérivée à partir d'un modèle particulier, Chew et Low obtiennent avec cette équation un ensemble de contraintes phénoménologiques non perturbatives, qui sont largement indépendantes du modèle choisi et semblent dès lors pouvoir fournir des informations sur la structure d'un modèle hypothétiquement complet de l'interaction forte ¹⁶ (si un tel modèle existe).

Wilson va très rapidement dévier de la suggestion initiale de Gell-Mann et s'intéresser tout particulièrement aux propriétés à hautes énergies des solutions de l'équation de Low pour différents modèles statiques et dans une approximation particulière – l'approximation dite « à un méson », dans laquelle les états du système impliquant de multiples mésons sont ignorés. Il est important de noter ici que son travail s'appuie de manière essentielle sur les méthodes perturbatives traditionnelles. En d'autres termes, Wilson étudie la structure à hautes énergies de certaines solutions *perturbatives* de l'équation de Low. Il est également remarquable qu'il fasse déjà usage d'un ordinateur pour évaluer numériquement le comportement de leur développement perturbatif à des ordres élevés. Cet usage reste toutefois largement heuristique. Le résultat le plus important à ses yeux – et qui semble en effet être le plus significatif avec du recul – est obtenu de manière analytique : Wilson se rend compte fin 1959 que ces solutions perturbatives prennent une forme étonnamment simple à hautes énergies ¹⁷. Par exemple, dans le cas du modèle statique le plus simple, Wilson trouve l'expression asymptotique suivante pour des mésons de masse m et d'énergie $k \rightarrow \infty$:

$$A_{if}(k) \sim \frac{g_s}{1 - c g_s \ln \frac{k}{m}}, \quad (1)$$

où g_s prend la forme d'un développement en g_r , la constante de

16 - Voir, en particulier, Chew et Low, *Effective range approach*, *op. cit.* in n. 15, 1570.

17 - Voir, en particulier, les lettres de Wilson à Gell-Mann datant du 19 octobre 1959 et du 7 janvier 1960 (California Institute of Technology Archives and Special Collections, Murray Gell-Mann papers, boîte 22, dossier 27).

couplage renormalisée, et c est une constante¹⁸.

Comme nous allons le voir sous peu, cette découverte va jouer un rôle fondamental dans la trajectoire intellectuelle de Wilson. Pour l'instant, bien que ces propriétés aient beau être remarquables pour tout physicien féru de séries perturbatives en TQC, on peut se poser la question de leur pertinence, et ce sous plusieurs angles. Premièrement, l'intérêt principal de l'équation de Low tient au fait qu'elle correspond à une équation non perturbative. En principe, cette équation peut fournir un certain nombre d'informations cruciales vis-à-vis du comportement des solutions de modèles de l'interaction forte pour lesquels la valeur de la constante de couplage est trop grande pour pouvoir utiliser des méthodes perturbatives traditionnelles. Dès lors, il est quelque peu étonnant que Wilson étudie la forme asymptotique des solutions *perturbatives* de cette équation. Elles ne semblent en effet présenter à ce point que très peu d'intérêt pour la physique de l'interaction forte. Deuxièmement, l'équation de Low est une équation largement phénoménologique, qui ne donne aucun détail sur la structure des champs quantiques impliqués dans la physique de l'interaction forte. Notamment, elle ne requiert pas de spécifier un hamiltonien particulier. Il est dès lors à nouveau quelque peu étonnant que Wilson l'utilise pour essayer de mieux comprendre la structure de la TQC. Troisièmement, l'équation de Low est censée fournir des informations générales sur les modèles de l'interaction forte à basses énergies. Or Wilson l'utilise à hautes énergies, et on peut se demander à nouveau si la simplicité des solutions perturbatives qu'il obtient dans ce régime est pertinente. Il s'avère que Wilson reconnaît par la suite le caractère quelque peu incongru de son étude :

L'objectif de Murray était d'utiliser l'équation pour rendre compte des processus de diffusion K-p de manière phénoménologique. Mais je devins fasciné par le comportement à hautes énergies des solutions de l'équation de Low, bien qu'elle ne soit qu'une approximation physique raisonnable, si tant est qu'elle le soit, seulement à basses énergies¹⁹.

18 - Voir Wilson, *op. cit.* in n. 14, part. II, sect. D, pour plus de détails.

19 - Kenneth G. Wilson, The Origins of lattice gauge theory, *Nuclear physics B : Proceedings supplements*, 140 (2005), 5, ma traduction. Voir également Kenneth G. Wilson, The Renormalization group and critical phenomena, *Reviews of modern physics*, 55/3 (1983), 589.

À ce stade, il semble donc que Wilson soit avant tout en train de se faire les dents sur des problèmes de la TQC qui peuvent être formulés indépendamment d'un modèle particulier, et sans que ces problèmes ne soient directement pertinents pour le problème qui l'intéresse au plus haut point, à savoir le comportement à hautes énergies des TQC.

Rencontre avec le groupe de renormalisation de Gell-Mann et Low (1960-1961)

Il existe toutefois un lien fondamental qui va jouer par la suite un rôle décisif pour Wilson. Les expressions perturbatives simplifiées qu'il obtient s'avèrent être très similaires à celles trouvées par Gell-Mann et Low en 1954, et cela l'amène à s'intéresser de plus près à leur travail²⁰. Wilson le résume de la manière suivante lors d'un entretien avec David Levin en 1995 :

À l'origine, j'étais censé développer un modèle pour des particules étranges, mais j'en vins à m'intéresser aux propriétés abstraites du modèle plutôt qu'aux particules étranges. [...] Ce fut ma première introduction à la théorie du groupe de renormalisation, qui allait par la suite devenir importante pour moi²¹.

Pour mieux comprendre ce lien, il nous faut revenir quelque peu en arrière. Cela va par ailleurs nous permettre de mieux discerner en section 5 les différences conceptuelles et méthodologiques

20 - Le moment où Wilson lit l'article de Gell-Mann et Low et fait le lien avec son propre travail de thèse n'est pas tout à fait clair. L'article de Gell-Mann et Low est cité dans la version finale de sa thèse (Wilson, *op. cit.* in n. 14). Mais il n'apparaît ni dans un premier article manuscrit datant du 7 janvier 1960 et intitulé « Solutions of the Low Equation in the One Meson Approximation for Large Energies » (California Institute of Technology Archives and Special Collections, Murray Gell-Mann papers, boîte 22, dossier 27), ni dans la correspondance entre Wilson et Gell-Mann de juillet 1959 à mai 1960. À noter que la date de la lettre de Wilson à Gell-Mann du « 2 décembre 1960 » semble être erronée ; elle correspond sans doute au 2 décembre 1959. Wilson a probablement fini de rédiger sa thèse en mai 1960, ce qui suggère qu'il ait fait le lien avec l'article de Gell-Mann et Low entre janvier et mai 1960. Il faut toutefois noter que Wilson avait probablement déjà rencontré le GR tel qu'il est introduit dans le livre de Bogoliubov et Shirkov en 1959 (voir Kenneth G. Wilson, Entretien avec les collaborateurs du projet *The Physics of scale* datant du 6 juillet 2002, éd. par A. Martínez et S. S. Schweber, part. I, <https://authors.library.caltech.edu/5456/1/hrst.mit.edu/hrs/renormalization/Wilson/index.html>).

21 - David I. Lewin, Nobel laureate espouses physics, education, and breadth of knowledge, *Computers in physics*, 9/6 (1995), 572, ma traduction.

entre la première version du GR de Wilson en 1965 et celle de Gell-Mann et Low en 1954.

Reprenons tout d'abord un peu d'altitude historique. La TQC a été rongée depuis ses origines par de nombreux problèmes mathématiques, le plus fameux d'entre eux étant le problème des divergences ultraviolettes. Les physiciens se rendirent en effet compte dès la fin des années 1920 que les premiers modèles quantiques de l'interaction électromagnétique généraient automatiquement des prédictions infinies lorsqu'ils prenaient en compte les contributions de processus physiques impliquant des énergies arbitrairement hautes. Après deux décennies de tribulations, certaines plus réussites que d'autres, et interrompues partiellement par la Seconde Guerre mondiale, ils trouvèrent finalement une solution suffisamment satisfaisante grâce aux méthodes de renormalisation perturbatives mentionnées ci-dessus. Bien que cette solution apportât un réconfort certain – les premières prédictions de l'électrodynamique quantique s'avérèrent être remarquablement précises –, les méthodes de renormalisation perturbatives restèrent néanmoins très suspicieuses aux yeux de nombreux physiciens. Dans les termes mémorables de Feynman, les infinies dues aux hautes énergies semblaient avoir été mises « sous le tapis »²². Et il n'était pas tout à fait clair à ce moment si ces infinies n'allaient pas ressurgir d'une manière ou d'une autre, et révéler que la construction perturbative des TQC est, au final, purement et simplement inconsistante²³.

L'article de Gell-Mann et Low s'inscrit précisément au cœur du débat du début des années 1950 sur la consistance mathématique de l'électrodynamique quantique renormalisée²⁴. Ils commencent à s'intéresser dès l'été 1953 au comportement asymptotique des propagateurs renormalisés $D_R(k^2, e_R^2, m)$ et $S_R(k, e_R^2, m)$ des photons et des électrons à hautes énergies $k \rightarrow \infty$, avec e_R^2 et m la charge et la masse renormalisées des électrons²⁵. Ils

22 - Richard P. Feynman, The Development of the space-time view of quantum electrodynamics, *Physics today*, 19/8 (1966), 43-44.

23 - Voir également Blum, *op. cit.* in n. 10, pour plus de détails.

24 - Voir Fraser, *op. cit.* in n. 6; Blum, *op. cit.* in n. 10, pour plus de détails.

25 - Murray Gell-Mann, Entretien avec Sara Lippincott datant du 17-18 juillet 1997, California Institute of Technology Archives Oral History Project, p. 28-29 du fichier PDF, http://resolver.caltech.edu/CaltechOH:OH_Gell-Mann_M.

sont alors confrontés à deux obstacles déjà bien connus à ce stade. Premièrement, le développement perturbatif de ces propagateurs diverge lorsque m tend vers zéro. Dans le cas des électrons, et pour en donner une forme schématique, le propagateur

$$S_R(k, e_R^2, m) = [1 + e_R^2 \ln(k^2/m^2) + \dots + e_R^4 [\ln(k^2/m^2)]^2 + \dots]/k \quad (2)$$

tend vers l'infini dans la limite $m \rightarrow 0$ à cause des logarithmes en k^2/m^2 . Il ne semble donc pas possible de prendre naïvement cette limite pour obtenir une expression simplifiée à hautes énergies²⁶ ($k \gg m$). Deuxièmement, le développement perturbatif est tel que les termes d'ordre plus élevé en e_R^2 contribuent plus que les termes d'ordre moins élevé. Il n'est donc pas possible de négliger la série infinie de termes d'ordre plus élevé pour obtenir une expression simplifiée à hautes énergies.

En même temps, Gell-Mann et Low ont de très bonnes raisons de croire que le comportement d'échelle de ces propagateurs n'est pas simplement polynomial dans ce régime – par exemple, en $1/k$ pour le propagateur des électrons. Tout indique que ce comportement est modifié par les corrections radiatives provenant de l'interaction entre les électrons et les photons (comme cela est apparent avec l'équation 2). Et il existe également de très bonnes raisons de croire que la singularité en $m = 0$ des propagateurs renormalisés est un artefact mathématique résultant de l'application des méthodes de renormalisation perturbatives. Par exemple, il est facile de vérifier que le propagateur nu régularisé au moyen d'une échelle de coupure λ n'est pas singulier en $m = 0$.

D'où le problème fondamental : comment obtenir des informations plus précises et fiables sur le comportement d'échelle des quantités renormalisées à hautes énergies? Je ne vais donner ici qu'une esquisse très partielle de la nouvelle méthode développée par Gell-Mann et Low. À mon sens, elle est déjà largement apparente dans le cas simplifié du propagateur des électrons, lorsque l'on ignore la contribution des photons « virtuels » et la dépendance par rapport à la charge renormalisée des élec-

26 - À noter que les limites $m \rightarrow 0$ et $k \rightarrow \infty$ ne sont équivalentes que dans la mesure où $D_R(k^2, e_R^2, m)$ et $S_R(k, e_R^2, m)$ ne dépendent que de k/m (ce qui requiert d'absorber le facteur en $1/k$ ou $1/k^2$).

trons²⁷. Premièrement, Gell-Mann et Low réexpriment de manière simplifiée la relation entre le propagateur nu $S_0(k, \lambda, m) = s_0(k/m, k/\lambda)/k$ et le propagateur renormalisé en ignorant la dépendance en $1/k$:

$$s_0(k/m, k/\lambda) = z(\lambda/m) s_R(k/m), \quad (3)$$

avec λ une échelle de coupure, s_R l'expression simplifiée du propagateur renormalisé et z le facteur de renormalisation dit de la « fonction d'onde » (et qui correspond ici à la « constante » de renormalisation associée à la variable de champ des électrons). Deuxièmement, ils s'appuient sur l'hypothèse cruciale et bien connue en 1953-1954 que l'électrodynamique quantique est renormalisable (au sens de Dyson). Cela implique en particulier que l'équation 3 reste (approximativement) valide à n'importe quelle énergie $k \gg m$ et pour n'importe quelle valeur de l'échelle de coupure $\lambda \gg m$ ²⁸.

Troisièmement, ils utilisent le fait que le propagateur nu ne soit pas singulier en $m = 0$ pour ignorer les termes finis en m des deux côtés de l'équation 3. Cela leur permet d'obtenir une relation fonctionnelle approximative à hautes énergies : $s_0(k/\lambda) = z(\lambda/m) s_R(k/m)$. Comme les deux quantités z et s_R divergent dans la limite $m \rightarrow 0$ bien que s_0 reste parfaitement finie, Gell-Mann et Low se rendent compte qu'il doit y avoir des « annulations fantastiques²⁹ » entre les divergences de z et s_R . Et cela veut donc dire qu'il doit être possible de récrire les fonctions z et s_R de telle manière à ce que ces annulations soient explicites. C'est le point fort de l'article à mon sens. Dans ce cas simplifié, il s'avère que la relation fonctionnelle approximative à hautes énergies possède en effet des solutions fonctionnelles générales en k/λ , λ/m , et k/m , pour lesquelles

27 - Voir Gell-Mann et Low, *op. cit.* in n. 1, sect. III. Pour plus de détails, voir Rivat, *op. cit.* in n. 7 ; Fraser, *op. cit.* in n. 6 ; Blum, *op. cit.* in n. 10. Pour simplifier, j'utilise les termes de particules virtuelles et de nuage virtuel. Mais il existe de bonnes raisons de ne pas prendre trop au sérieux ces expressions. Voir Sébastien Rivat, *Renormalization scrutinized, Studies in history and philosophy of modern physics*, 68 (2019), 23-39, pour un traitement détaillé de la renormalisation perturbative.

28 - Bien sûr, cela requiert que la méthode perturbative reste fiable pour n'importe quelle valeur de k . Comme le note Fraser (*op. cit.* in n. 6, 122), il est également nécessaire d'assumer que cette égalité reste vraie même si les séries perturbatives divergent.

29 - Gell-Mann et Low, *op. cit.* in n. 1, 1303.

ces annulations apparaissent explicitement³⁰. De manière plus générale, si l'on prend de nouveau en compte la dépendance de $s_R(k/m)$ sur e_R , la solution dans le cas de s_R prend la forme suivante :

$$s_R\left(\frac{k}{m}, e_R\right) = A(e_R) H\left[\frac{k}{m} \phi(e_R)\right], \quad (4)$$

avec A , H et ϕ des fonctionnelles dont il est en principe possible de trouver l'expression perturbative à un ordre donné à partir de l'expression perturbative de s_R . Le même traitement s'applique au propagateur renormalisé des photons d_R et à la charge renormalisée e_R . Rétrospectivement, Gell-Mann et Low viennent de trouver une nouvelle méthode pour resommer les termes du développement perturbatif de s_R , d_R et e_R , et obtenir des informations plus précises et fiables sur leur comportement d'échelle à hautes énergies.

Le point le plus important pour nous tient au fait que Wilson vient de trouver en cette fin d'année 1959 des expressions perturbatives asymptotiques qui prennent une forme fonctionnelle remarquablement similaire à celle trouvée par Gell-Mann et Low en 1954. Par exemple, si l'on substitue g_R à la place de e_R dans l'équation 4, et que l'on fait l'hypothèse que la série g_S est une fonction analytique F de g_R , on retrouve exactement l'équation 1 avec :

$$\begin{aligned} A(e_R) &= \frac{-1}{c} \\ H\left(\frac{k}{m}, e_R\right) &= \frac{1}{\ln\left[\frac{k}{m} \phi(e_R)\right]} \\ \phi(e_R) &= e^{\frac{-1}{cF(e_R)}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Il s'agit bien sûr d'une manière quelque peu simplifiée de reconstruire l'analogie formelle entre les expressions de Wilson et celles de Gell-Mann et Low. Mais cela illustre bien à mon sens le point clé pour Wilson : si l'on compare ces résultats avec les expressions obtenues dans le cadre de la renormalisation perturbative traditionnelle, les nouvelles méthodes de Wilson et de Gell-Mann et Low permettent de simplifier drastiquement la structure perturbative de la TQC à hautes énergies.

30 - Voir Gell-Mann et Low, *op. cit.* in n. 1, 1304.

Malgré ces similarités, l'impact des travaux de Gell-Mann et Low sur Wilson reste néanmoins très limité. Premièrement, et comme nous l'avons vu ci-dessus, Wilson a découvert relativement tard – vers la fin 1959 – que les solutions perturbatives de l'équation de Low se simplifient à hautes énergies, et il ne fait probablement le lien avec les travaux de Gell-Mann et Low que quelques mois, si ce n'est quelques semaines, avant de soumettre le manuscrit de sa thèse (la défense a lieu en juin 1960). Il n'a, en d'autres termes, probablement pas le temps d'approfondir le lien lors de son travail de thèse, et cela semble être confirmé par le fait qu'elle ne contienne qu'une application très limitée de la méthode fonctionnelle de Gell-Mann et Low. Wilson n'en tire qu'une sorte d'*addendum* sans grande conséquence pour le reste de son travail. Deuxièmement, il est fort probable que Wilson n'ait pas tout compris à leur article et ait été forcé de « réinventer » leur méthode pour arriver à sa première version du GR en 1965. Wilson confirme ce point dans son entretien avec Cao datant de 1991³¹. Et il semble qu'il n'ait également pas eu l'occasion de discuter du GR avec Gell-Mann au moment où il fait le lien : ce dernier se trouve en Europe en 1959-1960 et Wilson vient de rejoindre Harvard en novembre 1959 comme *Junior Fellow*. À ma connaissance, il n'y pas de trace d'un échange sur ce thème entre Wilson et Gell-Mann, ni entre Wilson et Low d'ailleurs, qui se trouve au MIT à ce moment, et que Wilson rencontre régulièrement lors de son passage à Harvard de novembre 1959 à janvier 1962, avant de partir au CERN pour un an³². Troisièmement, il semble que Wilson n'ait pas non plus compris grand-chose au traitement du GR de Bogoliubov et Shirkov dans leur ouvrage de 1959³³. Dans un sens, cela explique pourquoi la méthode de Gell-Mann et Low et le traitement de Bogoliubov et Shirkov sont très différents de la méthode discrète que Wilson développe en 1965 (comme nous allons le voir dans les sections 4 et 5).

Pourtant, Wilson insiste dans une lettre à Wolfhart Zimmermann datant du 13 janvier 1965 que le travail de Gell-Mann et Low a joué un rôle fondamental dans sa trajectoire vers le

31 - Kenneth G. Wilson, Entretien avec Tian Yu Cao datant du 10 décembre 1991, Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics, <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/34476>.

32 - Voir Ibid.; Wilson, Entretien, *op. cit.* in n. 20.

33 - Wilson, *op. cit.* in n. 31; Bogoliubov et Shirkov, 1959, *op. cit.* in n. 6. Wilson cite le livre dans sa thèse, *op. cit.* in n. 14, 49.

GR³⁴. Comment expliquer cette influence si, dans le détail, sa méthode est au final très différente de la leur ? À mon sens, l'impact de Gell-Mann et Low est double à ce stade : (i) Wilson réalise qu'il est nécessaire de mettre en œuvre de nouvelles méthodes pour comprendre la structure des TQC à hautes énergies ; (ii) il se rend compte que les « constantes » de couplage renormalisées prennent la forme d'une séquence continue indexée par un paramètre arbitraire au lieu de prendre une valeur fixe à une échelle physique donnée. Il va sans dire que l'idée d'une telle séquence est assez révolutionnaire au début des années 1950³⁵. Comme nous allons le voir en section 5, qu'on l'interprète comme une série de « conditions de renormalisations » indexées par des points de soustraction, ou comme une série de régularisations indexées par des échelles de coupure, cette séquence n'en reste pas moins largement formelle dans leur travail. Wilson sera le premier à interpréter le GR en des termes explicitement physiques. Autrement dit, il sera le premier à ouvrir la porte à un traitement des phénomènes « échelle par échelle » dans le cadre de la physique des particules.

De la dissertation de 1961 au groupe de renormalisation de 1965

Après avoir défendu sa thèse, Wilson va se rapprocher sensiblement durant les deux années qui suivent du programme de la matrice S , qui est en plein essor depuis la fin des années 1950 grâce aux travaux de Chew, Gell-Mann, Marvin Goldberger, Stanley Mandelstam, et Steven Frautschi, entre autres³⁶. Cependant, Wilson trouve rapidement ce nouveau programme peu satisfaisant, comme il en témoigne rétrospectivement :

J'en vins à rejeter la théorie de la matrice S parce que les équations de cette théorie, même si on pouvait les écrire, étaient trop compliquées et inélégantes pour constituer une théorie ; en revanche, l'existence d'une approximation de couplage fort ainsi

34 - Voir également Wilson, 1983, *op. cit.* in n. 19, 589.

35 - Voir, par ex., Silvan S. Schweber, Hans A. Bethe, et Frederic de Hoffmann, *Mesons and fields*, vol. 1, *Fields* (Evanston : Row, Peterson & Co, 1955), part. IIC.

36 - Voir, par ex., Pickering, *op. cit.* in n. 2, sect. 3.4 ; James T. Cushing, *Theory construction and selection in modern physics : The S-matrix* (Cambridge University Press, 1990).

qu'une approximation de couplage faible pour la théorie des mésons à source fixe m'aidera à penser que la théorie quantique des champs pouvait faire sens³⁷.

Cet intérêt pour la TQC va néanmoins l'éloigner des courants dominants de la physique des particules du début des années 1960, à savoir le programme de la matrice S et le programme des courants d'algèbre³⁸.

Selon ses propres mots, Wilson commence à se mettre « sérieusement » à travailler de nouveau sur la TQC durant l'été 1963³⁹. Il s'intéresse tout particulièrement au modèle simplifié de l'interaction entre pions et nucléons avancé par Tsung-Dao Lee en 1954⁴⁰. Ce modèle a l'avantage d'être à la fois exactement soluble et de posséder des caractéristiques similaires aux modèles réalistes de l'interaction forte. Par exemple, ce modèle génère des divergences ultraviolettes et doit être renormalisé; mais, dans la mesure où il est exactement soluble, il fournit un cadre mathématiquement bien défini pour mieux comprendre la structure des TQC réalistes à hautes énergies. Wilson continuera d'utiliser ce modèle jusqu'au début des années 1970⁴¹. De manière plus générale, cet intérêt renouvelé pour les modèles simplifiés de la TQC s'inscrit dans la continuité de son travail de thèse et se retrouve renforcé par son engagement progressif avec la tradition de recherche dite des « modèles de la théorie des champs⁴² ». Cette tradition se développe dans les années 1950-1960 à partir d'un certain nombre de travaux s'attachant à mieux comprendre la structure mathématique de la TQC à partir de modèles simplifiés, et elle constitue l'un des ancêtres de ce que l'on appelle

37 - Wilson, 1983, *op. cit.* in n. 19, 590, ma traduction. Voir également Wilson, *op. cit.* in n. 31.

38 - Voir, par ex., Pickering, 1984, *op. cit.* in n. 36; Tian Yu Cao, *From current algebra to quantum chromodynamics : A case for structural realism* (Cambridge University Press, 2010), pour les courants d'algèbre.

39 - Wilson, *op. cit.* in n. 31.

40 - Tsung-Dao Lee, Some special examples in renormalizable field theory, *Physical review*, 95/5 (1954), 1329-1334. Voir Blum, *op. cit.* in n. 10, pour plus de détails historiques.

41 - Voir, par ex., Wilson, *op. cit.* in n. 3; *idem*, Model of coupling-constant renormalization, *Physical review D*, 2/8 (1970), 1438-1472; *idem*, Renormalization group and strong interactions, *Physical review D*, 3/8 (1971), 1818-1846.

42 - On retrouve par exemple cette appellation dans Sydney A. Bludman, Unified theories of elementary particles, *Physics today*, 19/2 (1966), 55.

aujourd'hui la « théorie constructive des champs »⁴³. Au sein de cette tradition, le modèle formulé par Léon van Hove en 1952 jouera également un rôle particulièrement crucial pour Wilson par la suite⁴⁴.

Cette rencontre avec la tradition des modèles de la théorie des champs va avoir une importance conceptuelle et méthodologique singulière pour Wilson. Comme il en rend compte rétrospectivement, l'ensemble des modèles simplifiés qu'il collectionne depuis le début des années 1960 va lui servir de « laboratoire théorique » pour mettre en œuvre de nouvelles méthodes et tester de nouvelles hypothèses⁴⁵. Par exemple, il peut évaluer si certains phénomènes théoriques comme l'existence d'une singularité à hautes énergies sont robustes vis-à-vis des différents modèles de son laboratoire. Et dans la mesure où ces modèles sont pour la plupart largement irréalistes, Wilson n'a aucun scrupule à dénaturer leur structure et à introduire des hypothèses radicalement nouvelles. Il faut noter à cette occasion que les modèles de la théorie des mésons, dont le modèle statique fait partie, ont largement perdu de leur attrait depuis le début des années 1960. Wilson en fait la fâcheuse découverte dès 1959 lorsqu'il se rend compte lors d'une courte visite à Berkeley que même Chew – l'un de leurs ardents défenseurs au début des années 1950 – ne leur porte plus aucun intérêt⁴⁶.

Wilson développe au sein de son laboratoire théorique une toute première méthode dès 1963 pour aller au-delà des méthodes perturbatives traditionnelles et essayer de mieux comprendre le comportement à hautes énergies de la TQC. Cette méthode,

43 - Voir, par ex., Léon van Hove, Les Difficultés de divergences pour un modèle particulier de champ quantifié, *Physica*, 18/3 (1952), 145-159; Lee, *op. cit.* in n. 40; Walter E. Thirring, A soluble relativistic field theory, *Annals of physics*, 3/1 (1958), 91-112; Kenneth A. Johnson, Solution of the equations for the Green's functions of a two dimensional relativistic field theory, *Il Nuovo cimento*, 20/4 (1961), 773-790. Pour un bref aperçu historique de la théorie constructive des champs dans le cadre de la formulation axiomatique et algébrique de la TQC, voir Arthur Jaffe, Constructive quantum field theory, in Athanassios Fokas, Alexander Grigoryan, Tom Kibble et Boguslaw Zegarlinski (dir.), *Mathematical physics 2000* (World Scientific, 2000), 111-127.

44 - Voir Rivat, *op. cit.* in n. 7, 327, pour plus de détails.

45 - Wilson, 2005, *op. cit.* in n. 19, 6.

46 - Voir Kenneth G. Wilson, Lettre à Murray Gell-Mann datant du 12 septembre 1959 (California Institute of Technology Archives and Special Collections, Murray Gell-Mann papers, boîte 22, dossier 27).

qui est aujourd'hui connue sous le nom de « développement du produit d'opérateur » (DPO), prend la forme d'une hypothèse générale sur la structure des produits d'opérateurs à différents points d'espace-temps⁴⁷. Par exemple, dans le cas le plus simple d'un opérateur scalaire O localisé à deux points d'espace-temps x et y , Wilson conjecture que le produit $O(x)O(y)$ peut être développé en une série d'opérateurs locaux $O_n(x)$ avec des coefficients à valeurs complexes $c_n(x - y)$ lorsque x tend vers y . Intuitivement, si cette hypothèse est correcte, elle ouvre la voie à une nouvelle manière de renormaliser non perturbativement les quantités de la TQC. Elle suggère qu'il est en effet possible d'absorber au moyen d'un développement local d'opérateurs toutes les divergences qui proviennent de la multiplication d'opérateurs – ou plus précisément de « distributions » – localisés à différents points d'espace-temps. Il n'est donc pas étonnant que, derrière ce résultat très abstrait, Wilson pense avoir développé une nouvelle méthode qui aille au-delà des méthodes de renormalisation perturbatives traditionnelles et ouvre la voie à une meilleure compréhension des divergences ultraviolettes en TQC.

Wilson se retrouve malheureusement coupé dans son élan. Après avoir soumis le manuscrit pour publication et reçu le rapport anonyme – apparemment écrit par Arthur Wightman mais Wilson ne le sait évidemment pas –, il se rend compte que les dimensions des opérateurs locaux $O_n(x)$ ne sont pas « canoniques » mais « anormales », c'est-à-dire que leur comportement d'échelle dévie de celui associé à leur dimension physique : par exemple, $O(\lambda x) \propto |\lambda|^{n+\alpha} O(x)$, avec n la dimension physique de l'opérateur scalaire O , α la déviation et λ un paramètre d'échelle arbitraire adimensionné. Ne sachant pas comment obtenir systématiquement ces dimensions anormales, Wilson en vient à laisser son hypothèse de côté. Il ne la reprendra sérieusement que quelques années plus tard et n'en publiera les premiers résultats qu'en 1969⁴⁸.

Entre temps, Wilson a déjà commencé à travailler sur une autre

47 - Kenneth G. Wilson, Products of quantum field operators at short distances, Cornell University Library, Kenneth G. Wilson papers, boîte 1, dossier 18.

48 - Voir Kenneth G. Wilson, Non-Lagrangian models of current algebra, *Physical review*, 179/5 (1969), 1499-1512; Wilson, Entretien, *op. cit.* in n. 20.

méthode, et ce dès 1964, mais dans l'espace des moments cette fois-ci. Il s'agit de sa première version du GR, et dont il soumet les résultats pour publication le 14 juin 1965, juste après avoir soumis son article sur le DPO le 2 juin⁴⁹. L'histoire ne sera pas aussi cahoteuse dans ce cas : l'article apparaît quelques mois plus tard dans *Physical review*. De nouveau, le but de Wilson dans cet article est de mieux comprendre le comportement à hautes énergies de la TQC, et tout particulièrement des TQC qui traitent de l'interaction forte. Pour cela, il repart du modèle statique dont il a déjà fait usage dans sa thèse. La version qu'il utilise en 1965 inclut deux champs mésoniques chargés avec des états d'énergie $|k\rangle$ et interagissant avec une source statique – un nucléon – possédant deux états, proton $|p\rangle$ et neutron $|n\rangle$. Sans surprise, ce choix est à nouveau guidé par le fait que le modèle présente les mêmes problèmes que les TQC réalistes (divergences ultraviolettes, renormalisation) tout en étant physiquement intuitif, simple et aisément manipulable⁵⁰.

Il faut garder à l'esprit que nous sommes très loin de la chromodynamique quantique à ce moment-là, c'est-à-dire très loin d'avoir une théorie hypothétiquement complète de l'interaction forte – cela n'arrive qu'au début des années 1970 avec la découverte de la liberté asymptotique⁵¹. En 1964, et comme nous l'avons déjà vu, les physiciens n'ont à leur disposition qu'une collection disparate de modèles phénoménologiques qui fonctionnent assez bien à basses énergies mais dont les chances de survie à hautes énergies sont quasi-nulles. Par ailleurs, dans le cas des modèles relativistes les plus ambitieux et qui peuvent prétendre s'appliquer à toutes les énergies, la constante de couplage semble avoir une valeur trop grande pour pouvoir utiliser les méthodes perturbatives traditionnelles. Et tous les modèles réalistes – phénoménologiques ou non – ne peuvent pas être résolus de manière exacte. Cela concerne d'ailleurs aussi bien les modèles de l'interaction forte que les modèles des interactions électromagnétique et faible.

49 - Wilson, *op. cit.* in n. 3.

50 - Wilson, *op. cit.* in n. 3, B445-B446.

51 - Voir David Gross et Frank Wilczek, Ultraviolet behavior of non-Abelian gauge theories, *Physical review letters*, 30/26 (1973), 1343-1346; Hugh D. Politzer, Reliable perturbative results for strong interactions? *Physical review letters*, 30/26 (1973), 1346-1349; Gerard 't Hooft, The Birth of asymptotic freedom, *Nuclear physics B*, 254 (1985), 11-18.

Pour contourner ces problèmes et trouver une méthode qui permette de résoudre – même de manière approximative – des modèles hypothétiquement fondamentaux avec une constante de couplage arbitraire, Wilson fait deux choses remarquables⁵². Tout d’abord, il développe une *nouvelle méthode d’approximation* qui met sens dessus dessous la manière traditionnelle d’analyser la structure d’une théorie physique. On peut résumer l’analyse traditionnelle de la façon suivante : (i) la théorie, ou le modèle, est divisée en une partie « libre », qui décrit le comportement libre d’un certain nombre d’entités comme des particules ou des champs par exemple, et une partie d’« interaction », qui décrit les interactions entre ces entités et dont l’intensité est paramétrée par une constante de couplage adimensionnée g ; (ii) la partie d’interaction est traitée comme une perturbation vis-à-vis de la partie libre en assumant que la valeur de la constante de couplage est suffisamment petite $g \ll 1$. En un mot : la théorie, ou le modèle, est analysée en faisant l’hypothèse qu’elle décrit des entités fondamentales interagissant faiblement entre elles.

Wilson fait quelque chose de parfaitement orthogonal : (i) la théorie, ou le modèle, est divisée en une partie de « haute énergie », qui décrit le système avec ses interactions à hautes énergies, et une partie de « basse énergie », qui décrit le système avec ses interactions à basses énergies et dont l’importance relative de ses contributions est paramétrée par une échelle Λ ; (ii) la partie de basse énergie est traitée comme une perturbation vis-à-vis de la partie de haute énergie. En un mot : la théorie, ou le modèle, est analysée en faisant l’hypothèse qu’elle décrit des entités à différents niveaux qui ne dépendent que très peu les unes des autres. Schématiquement, Wilson renverse la manière d’analyser la structure d’une théorie physique H de la manière suivante :

$$\begin{aligned} H &= H_{\text{libre}} + gH_{\text{interaction}} \\ &\quad \downarrow \\ H &= H_{\text{haute énergie}} + \frac{1}{\Lambda}H_{\text{basse énergie}}. \end{aligned} \tag{6}$$

52 - Il s’agit ici d’une reconstruction historique qui clarifie à mon sens la structure conceptuelle de ce que Wilson fait en 1965. Voir Rivat, *op. cit.* in n. 7, pour plus de détails.

Dans le cas du modèle statique, ce renversement est justifié par le fait que la partie de basse énergie n'apporte que des contributions relativement modestes vis-à-vis des niveaux d'énergie de la partie de haute énergie, et ce quelle que soit la valeur de g . En revanche, pour que l'approximation reste valide, il semble à ce stade nécessaire d'introduire un « intervalle d'énergie » Λ suffisamment large entre les espaces des états des parties de basse énergie et de haute énergie. Comme nous allons le voir dans l'épilogue, Wilson se rendra compte d'ici peu que cette hypothèse n'est en fait pas essentielle⁵³.

Regardons de plus près la manière dont Wilson analyse l'effet de la partie de basse énergie sur les niveaux d'énergie de la partie de haute énergie. Il considère tout d'abord un hamiltonien défini sur la plage d'échelle $[0, \Lambda]$, avec Λ une échelle de coupure arbitraire, et introduit un « intervalle vide » d'ordre Λ entre une partie de basse énergie H_{lab} , définie sur la plage $0 < k < 1$ et décrivant l'interaction de mésons d'énergie k observés dans le laboratoire avec la source statique, et une partie de haute énergie H_0 définie sur la plage $\Lambda/2 < k < \Lambda$. Le hamiltonien $H_1 = H_0 + H_{lab}$ qui résulte de ce découpage possède une partie « non perturbée » de haute énergie H_0 et une « perturbation » de basse énergie H_{lab} . Il est également possible de trouver avec les méthodes perturbatives traditionnelles les états fondamentaux de H_0 , $|P\rangle$ et $|N\rangle$, ainsi que leur valeur propre ΛE_0 . Et ces états physiques doivent être distingués des états nus de la source : ils la décrivent avec un « nuage » de mésons virtuels dont l'énergie est d'ordre Λ . H_0 contient en effet un terme d'interaction mésons-source et ne doit donc pas être confondu avec le hamiltonien libre utilisé lorsque l'on applique les méthodes perturbatives traditionnelles. À partir de là, Wilson se rend compte que les opérateurs de création et d'annihilation de mésons de haute énergie ($\sim \Lambda$) contenus dans H_0 n'affectent pas les états décrivant des mésons de faible énergie (~ 1). Les états fondamentaux de H_0 sont donc très « dégénérés » : il existe de nombreux états $|P, k_1, \dots, k_l\rangle$ et $|N, k_1, \dots, k_m\rangle$ ayant la même valeur propre ΛE_0 que $|P\rangle$ et $|N\rangle$, avec $|k_i\rangle$ l'état d'un méson de basse énergie $k_i \sim 1$. Pour trouver les niveaux d'énergie les plus bas de H_1 , le hamiltonien qui décrit les deux « tranches » $[0, 1]$ et $[\Lambda/2, \Lambda]$, il

53 - Voir Wilson, 1970, *op. cit.* in n. 41.

est donc possible d'utiliser la méthode des perturbations dégénérées, traditionnellement utilisée dans le cadre de la mécanique quantique non relativiste.

Wilson réalise toutefois qu'il est plus simple et systématique d'introduire un hamiltonien effectif H_{eff} qui reproduise exactement ces niveaux d'énergie à partir des états fondamentaux du système, $|P, k_1, \dots, k_l\rangle$ et $|N, k_1, \dots, k_m\rangle$, et pour lequel il n'est donc pas nécessaire de calculer les états perturbés. À l'ordre le plus bas, H_{eff} est obtenu en projetant simplement $H_1 = H_0 + H_{\text{lab}}$ sur l'espace généré par ces états fondamentaux. H_0 se réduit à ΛE_0 . Pour ce qui est de H_{lab} , le nuage virtuel de haute énergie ($\sim \Lambda$) autour de la source affecte la probabilité qu'elle émette ou absorbe des mésons de basse énergie (~ 1) :

$$\langle P | a_k \tau | N, k \rangle = \alpha, \quad (7)$$

avec a_k l'opérateur d'annihilation d'un méson d'énergie k , τ l'opérateur associé à la source et spécifiant la transition d'un état neutron à un état proton, et α un nombre complexe ($0 < |\alpha| < 1$). L'effet du nuage virtuel peut donc être pris en compte en renormalisant l'opérateur associé à la source, $\tau_R = \tau/\alpha$, ce qui revient à renormaliser la constante de couplage entre la source et les mésons, $g_r = \alpha g_0$. Et on obtient au final un hamiltonien effectif encodant au niveau Λ les corrections provenant de l'interaction « renormalisée » entre la source et les mésons de basse énergie :

$$H_{\text{eff}} = \Lambda E_0 [g_0] + H_{\text{lab}} (\alpha g_0), \quad (8)$$

où la dépendance des niveaux d'énergie fondamentaux au niveau Λ sur g_0 est exprimée de manière explicite. Comme nous allons le voir ci-dessus, il s'agit de la première version d'une « transformation du groupe de renormalisation » au sens wilsonien.

À ce stade, Wilson a développé une nouvelle méthode d'approximation perturbative qui ne dépend pas de la valeur de la constante de couplage. Cela n'est toutefois pas suffisant pour étudier le comportement du modèle à hautes énergies. H_0 est en effet défini sur la plage $\Lambda/2 < k < \Lambda$ et donc peu susceptible de fournir des informations intéressantes dans la limite des hautes

énergies $\Lambda \rightarrow \infty$. Il en va de même pour H_{lab} qui est défini sur la plage $0 < k < 1$. Pour remédier à ce problème, Wilson fait une deuxième chose remarquable : il développe une *nouvelle méthode computationnelle*, discrète et itérative⁵⁴. Il commence par « découper » l'espace des états du modèle statique en une série infinie de tranches continues $\Lambda^n/2 < k < \Lambda^n$ ($n \geq 1$). Ces tranches ont une largeur d'ordre Λ^n et sont séparées les unes des autres par un « intervalle vide » de même ordre. Puis, en utilisant sa nouvelle méthode d'approximation, Wilson obtient une série de corrections pour les niveaux d'énergie fondamentaux du modèle effectif $H_{\text{eff},n}$ au niveau Λ^n :

$$\begin{aligned} & \Lambda^n E_0 [g_0] + H_{n-1}, \\ & \Lambda^n E_0 [g_0] + \Lambda^{n-1} E_0 [g_0 \alpha(g_0)] + H_{n-2}, \\ & \vdots \\ & \Lambda^n E_0 [g_0] + \Lambda^{n-1} E_0 [g_0 \alpha(g_0)] + \dots + H_{\text{lab}}, \end{aligned} \quad (9)$$

où les mésons de « haute énergie » ($\sim \Lambda^m, 1 \leq m \leq n$) sont successivement éliminés de l'espace des états du modèle effectif. En d'autres termes, Wilson calcule étape par étape la manière dont les corrections de haute énergie s'accumulent à travers les échelles d'énergie. Cette transformation génère également une séquence de « paramètres » de couplage allant de la constante de couplage nu g_0 à la constante renormalisée g :

$$g_n = g_0, g_{n-1} = g_n \alpha(g_n), \dots, g = g_1 \alpha(g_1). \quad (10)$$

Chaque paramètre de couplage g_m ($1 \leq m \leq n$) dans la séquence encode les effets qui proviennent des mésons du niveau Λ^{m+1} au travers de $\alpha(g_{m+1})$ et indirectement les effets virtuels des niveaux $\Lambda^{m+1}, \dots, \Lambda^n$ au travers de g_{m+1} . Il s'agit de la première version du « groupe de renormalisation » au sens wilsonien.

Une fois la séquence d'hamiltoniens et de paramètres de couplage effectifs obtenue, la dernière étape consiste à étudier sa limite à hautes énergies. Rien n'interdit en effet d'inverser la relation fonctionnelle entre g_n et g_{n-1} , du moins dans ce cas suffisamment simple. La valeur du paramètre de couplage g_n à haute énergie ($\sim \Lambda^n$) peut dès lors être déterminée à partir de sa valeur

54 - Pour plus de détails, voir Rivat, *op. cit.* in n. 7.

« physique » g à basse énergie (~ 1). De la même manière, les niveaux d'énergie les plus bas au niveau Λ^n peuvent être déterminés à partir de cette relation fonctionnelle et de l'expression des niveaux d'énergie fondamentaux $E_0[g]$ à un niveau donné. Et, du moins en principe, il est également possible de prendre la limite $n \rightarrow \infty$ pour obtenir des informations sur les niveaux d'énergie fondamentaux du modèle défini sur l'ensemble des tranches. Il reste bien entendu de nombreuses choses à dire sur le reste de l'article. Mais, au point où nous sommes arrivés, il semble que nous ayons tout ce dont nous avons besoin pour comprendre la rupture conceptuelle et méthodologique entre les travaux de Wilson en 1965 et ceux de Gell-Mann et Low en 1954.

Le groupe de renormalisation wilsonien à la lumière des travaux de Gell-Mann et Low

Regardons de plus près la relation entre la première version du GR wilsonien et celui de Gell-Mann et Low. À mon sens, la rupture conceptuelle et méthodologique s'opère sur quatre plans.

Premièrement, Wilson développe une nouvelle méthodologie quasi-algorithmique pour analyser et résoudre les problèmes physiques⁵⁵. La première étape consiste à diviser un problème complexe et insoluble impliquant une plage d'échelle continue et infinie en une série infinie de problèmes plus simples et approximativement solubles impliquant chacun une plage d'échelle continue et finie. Wilson implémente, en d'autres termes, une méthode de type «diviser pour régner» à travers les échelles. Le modèle statique initial ne peut en effet pas être directement résolu avec les méthodes perturbatives traditionnelles, du moins pas pour une constante de couplage arbitraire. Wilson décide donc de découper l'espace des états du modèle en une série de tranches continues. Cela revient à remplacer le modèle initial par une série de modèles similaires – il faut noter

55 - L'impact de l'intérêt précoce de Wilson pour les ordinateurs sur cette nouvelle méthode est plus longuement développé dans Rivat, *op. cit.* in n. 7. J'utilise le terme «quasi-algorithmique» dans le sens où la méthode est, à proprement parler, algorithmique, mais le problème physique ne peut être résolu de manière exacte par un ordinateur, dans la mesure où le hamiltonien à chaque échelle est défini sur une plage continue.

à cette occasion que Wilson ne discrétise pas entièrement le modèle initial comme il fera plus tard en 1970⁵⁶. Bien que ces modèles réduits soient toujours définis sur une plage continue, ils ont l'avantage d'être chacun délimités par une échelle de coupure et donc d'être approximativement solubles avec les méthodes perturbatives traditionnelles⁵⁷. Néanmoins, il semble peu recommandable d'essayer de les résoudre un par un. La deuxième étape consiste dès lors à reconceptualiser cette série infinie de problèmes plus simples en un problème récursif : schématiquement, $H_{\text{eff},n}(g_n) = f[H_{\text{eff},n-1}(g_{n-1})]$, avec H_{lab} le cas de base et f une fonctionnelle donnée. Dans le cas du modèle statique, f est déterminée par $E_0[g_n]$ et $g_{n-1} = g_n \alpha(g_n)$. Et en combinant ces deux étapes, Wilson obtient une version préliminaire de l'«analyse multi-échelle» qui forme la marque de fabrique de sa formulation du GR à partir des années 1970 : (i) on décompose un système physique impliquant de nombreuses échelles caractéristiques différentes en un ensemble de systèmes physiques distincts à des échelles différentes; (ii) on évalue la manière dont un système à une échelle donnée affecte le système à l'échelle suivante.

En comparaison, Gell-Mann et Low semblent être à des années lumières de cette nouvelle méthodologie. Il n'y a pas de tentative de résoudre les problèmes de manière algorithmique dans leur travail. Il n'y a également pas de découpage systématique d'un système selon des échelles physiques différentes. Gell-Mann et Low souhaitent avant tout obtenir une expression simplifiée d'un problème dans un régime particulier, à savoir les hautes énergies. Et, pour cela, il leur est seulement nécessaire de distinguer le régime des basses énergies du régime des hautes énergies. À cette occasion, et comme nous allons le voir plus en détail ci-dessous, il est important de noter que la charge physique renormalisée chez Gell-Mann et Low est une constante dont la valeur est déterminée expérimentalement à basses énergies. La charge nue, qu'elle soit déterminée à une échelle arbitraire finie λ ou en prenant la limite $\lambda \rightarrow \infty$, semble avoir un caractère plutôt formel. Et le comportement à hautes énergies des propagateurs renormalisés est déterminé à partir d'un paramètre physique k , qui, pour simplifier quelque peu,

56 - Voir Wilson, 1970, *op. cit.* in n. 41.

57 - Voir Wilson, *op. cit.* in n. 3, B446, pour quelques exemples.

correspond à l'énergie caractéristique d'un électron ou d'un photon échangé lors d'un processus d'interaction. Dans une large mesure, Gell-Mann et Low conceptualisent donc toujours les systèmes physiques à partir d'une simple division entre le niveau de basse énergie et le niveau de haute énergie. Je rejoins également ici James Fraser sur l'idée que Gell-Mann et Low ont toujours à ce stade une vision «à deux niveaux» de la renormalisation entre les quantités nues de la théorie régularisée, qui prennent pour la plupart une valeur infinie lorsque l'on enlève le régulateur, et les quantités de la théorie renormalisée, qui prennent une valeur fixe déterminée expérimentalement à basses énergies⁵⁸.

Deuxièmement, Wilson développe en 1965 une version préliminaire de la transformation du groupe de renormalisation «à gros grain» (et ce indépendamment de sa rencontre avec la physique des états solides en 1965-1966). Cette transformation s'opère schématiquement de la manière suivante dans sa version achevée du début des années 1970 (aussi bien avec une fonction de partition qu'avec une intégrale de chemin) : étant donné un système dont l'espace des configurations est délimité par une échelle de coupure Λ_0 , on intègre les configurations de haute énergie sur une plage infinitésimale $[\Lambda_0 - \delta\Lambda, \Lambda_0]$ et on définit une théorie effective délimitée par l'échelle $\Lambda_0 - \delta\Lambda$ et dont les variables, paramètres et termes d'interaction encodent les effets physiques associés à cette plage. L'analyse peut être répétée si besoin. Et pour des énergies suffisamment basses $\Lambda \ll \Lambda_0$, ces effets peuvent être typiquement approximatés à l'aide d'un développement local et les termes d'interaction d'ordre supérieur de ce développement ignorés.

À première vue, Wilson semble faire quelque chose de très différent en 1965. Le hamiltonien effectif $H_{\text{eff},n}$ est défini en ignorant simplement les états excités d'ordre Λ^n et en projetant le hamiltonien H_n sur l'espace des états généré par les états fondamentaux $|P_n, k_1, \dots, k_l\rangle$ et $|N_n, k_1, \dots, k_m\rangle$, avec $k_i \leq \Lambda^{n-1}$. En d'autres termes, il ne semble pas que Wilson intègre les degrés de liberté de haute énergie du système et prenne en compte leurs effets sur le système de basse énergie comme il le fait au début des années 1970. Cela est toutefois trompeur. Wilson ne s'appuie

58 - Voir Fraser, *op. cit.* in n. 6, sect. 3.

en effet pas sur les méthodes perturbatives traditionnelles. La partie « non perturbative » $H_{n,0}$ du hamiltonien H_n contient une partie libre et une partie d'interaction. Il en va de même pour la « perturbation » H_{n-1} . Dès lors, lorsque Wilson résout $H_{n,0}$ de manière approximative, les états fondamentaux $|P_n\rangle$ et $|N_n\rangle$ incluent les effets du nuage virtuel au niveau Λ^n . Et ces effets sont directement encodés dans les paramètres et opérateurs renormalisés de $H_{\text{eff},n}$. Bien entendu, Wilson ne garde que les effets de haute énergie les plus simples en 1965 – il ne publiera une version généralisée de sa transformation qu'en 1970⁵⁹. Il n'empêche que la méthode préliminaire de 1965 contient déjà les éléments conceptuels et méthodologiques clés de sa transformation du GR du début des années 1970 : les états de haute énergie sont éliminés et leurs effets virtuels pris en compte au travers des paramètres et des termes d'interaction du hamiltonien effectif⁶⁰. Et il va sans dire que Gell-Mann et Low sont à nouveau à des années lumières d'une telle méthode à gros grains.

Troisièmement, Wilson formule une équation discrète du groupe de renormalisation pour des paramètres de couplage. Tout d'abord, il est clair en 1965 qu'il n'y a, à proprement parler, plus de « constantes » de couplage chez Wilson. Le paramètre g_m ($0 \leq m \leq n$) dépend explicitement du paramètre au niveau suivant. Il est également indexé à un ensemble de tranches, et donc au niveau auquel le hamiltonien effectif est défini. Et il peut s'agir du niveau « complet » dans la limite $n \rightarrow \infty$, qui prend en compte toutes les tranches d'énergie, ou du niveau du « laboratoire » pour $m = 0$, qui ne prend en compte que la

59 - Wilson, 1970, *op. cit.* in n. 41.

60 - Il faut noter à cette occasion qu'il existe déjà en 1965 des méthodes assez similaires dans le cadre de la mécanique quantique non relativiste appliquée à des systèmes moléculaires. Pour quelques articles précurseurs, voir, par ex., John H. Van Vleck, On σ -type doubling and electron spin in the spectra of diatomic molecules, *Physical review*, 33/4 (1929), 467-506; Claude Bloch, Sur la théorie des perturbations des états liés, *Nuclear physics*, 6 (1958), 329-347. Pour des articles plus récents, voir, par ex., James K. G. Watson, Different forms of effective Hamiltonians, *Molecular physics*, 103/24 (2005), 3283-3291; Frank Neese, Lucas Lang et Vijay G. Chilkuri, Effective Hamiltonians in chemistry, in Eva Pavarini et Erik Koch (dir.), *Topology, entanglement, and strong correlations : Modeling and simulation*, vol. 10 (Jülich, Germany : Forschungszentrum Jülich, 2020). Dans la mesure où le père de Wilson, E. Bright Wilson, était un spécialiste de la chimie quantique, on peut se demander si Wilson n'a pas été introduit à la tradition des hamiltoniens effectifs par son père. Je n'ai malheureusement trouvé pour l'instant aucun indice qui suggère cela.

première tranche⁶¹. Par ailleurs, le paramètre de couplage g_m est renormalisé dans le sens où il inclut des effets physiques provenant d'autres tranches – des tranches supérieures si l'on utilise $g_m = g_{m+1}\alpha(g_{m+1})$ et inférieures si l'on inverse cette relation. Dans les deux cas, cela suggère que m constitue donc bien une « échelle de renormalisation » physique. Et, de manière quelque peu surprenante du point de vue actuel, il s'agit d'une échelle de renormalisation *discrète*. Enfin, la relation de récursion est également susceptible de présenter des « points fixes » g^* définis par l'équation $g^* = g^*\alpha(g^*)$, aussi bien à basses énergies qu'à hautes énergies. Wilson en donne d'ailleurs une analyse étonnamment développée dans son article de 1965. Il s'avère même que la plupart des cas de figure – pôle de Landau, divergence asymptotique et liberté asymptotique – y sont déjà apparents, et ce aussi bien à haute énergie qu'à basse énergie⁶².

L'équation de Wilson possède quelques points communs avec les équations fonctionnelles que Gell-Mann et Low obtiennent pour la charge des électrons : par exemple, $e_2^2 = e_1^2 d_R(\lambda^2/m^2, e_1^2)$, avec e_2^2 la charge renormalisée à une échelle de soustraction λ , et e_1^2 et d_R la charge et le propagateur renormalisés à une valeur physique donnée. Ils semblent en effet avoir développé une relation fonctionnelle entre des « paramètres » de couplage renormalisés à des échelles distinctes, qu'ils peuvent dès lors utiliser pour évaluer le comportement de la charge à hautes énergies et distinguer différents cas de figure, tout comme Wilson. Malgré cela, il existe toutefois trois différences notables au-delà du caractère plutôt formel du GR chez Gell-Mann et Low, et dont je vais parler plus longuement ci-dessous. Tout d'abord, comme le note Alexander Blum, l'équation fonctionnelle de Gell-Mann et Low pour la charge renormalisée ne constitue pas une équation du groupe de renormalisation dans le sens actuel⁶³. Il en va

61 - À noter que Wilson utilise le paramètre g à ce niveau et garde g_0 pour le paramètre nu.

62 - Wilson, *op. cit. in* n. 3, sect. vi. À la lumière de cet article, il est d'ailleurs étonnant que Wilson n'ait pas pris plus au sérieux le cas de figure de la liberté asymptotique en 1971. Il semble que la « bévée » de Wilson en 1971, à savoir le fait qu'il n'ait pas pensé que l'interaction forte puisse devenir asymptotiquement libre à hautes énergies, provienne plus de son ignorance des théories de jauge non abélienne que de la possibilité d'un tel cas (Wilson, 2005, *op. cit. in* n. 19, sect. 5).

63 - Voir Blum, *op. cit. in* n. 10, chap. 9.2 (« Return to the renormalization group in the 1960s »); Gell-Mann et Low, *op. cit. in* n. 1, appendix B.

de même pour l'équation différentielle qu'ils dérivent à partir de cette équation fonctionnelle. Ensuite, leur GR pour les paramètres de couplage prend une forme continue et non discrète. Enfin, leur GR s'appuie essentiellement sur les méthodes perturbatives traditionnelles et ne peut être étendu à des régimes pour lesquels la valeur du paramètre de couplage – la charge e_R – devient trop grande. En comparaison, l'analyse de Wilson s'applique en principe à n'importe quelle situation : il est juste nécessaire d'avoir à chaque fois une méthode appropriée pour trouver $E_0[g_n]$ et $g_{n-1} = g_n \alpha(g_n)$ selon la valeur de g_n .

Finalement, Wilson interprète explicitement la transformation du GR, l'équation pour le paramètre de couplage et l'échelle de renormalisation en des termes physiques, et offre ainsi un fondement physique explicite aux méthodes de renormalisation. Lorsque Wilson propose initialement de découper le modèle statique, chaque tranche constitue un niveau physique : le niveau où la source interagit avec des mésons d'une énergie donnée. En éliminant les états excités du système au niveau Λ^n et donc les processus d'interaction mésons-nucléon dont la distance caractéristique est relativement petite, Wilson définit un modèle effectif à gros grain qui ignore les aspects les plus raffinés du modèle au niveau Λ^n . Il en va de même pour la séquence de modèles effectifs au niveau Λ^n spécifiée par l'équation 9 : le dernier modèle $\Lambda^n E_0[g_0] + \Lambda^{n-1} E_0[g_0 \alpha(g_0)] + \dots + H_{\text{lab}}$ ne prend en compte que les déviations les plus fines, et donc des processus dont la distance caractéristique est relativement large pour le niveau Λ^n . De manière similaire, l'équation 10 décrit la manière dont les effets physiques des niveaux supérieurs affectent l'intensité de la force d'interaction entre mésons et le nucléon au niveau Λ^m : si $g_m < g_{m+1}$, les effets des mésons de haute énergie deviennent de moins en moins importants à basses énergies, ce qui rend la force d'interaction « effective » plus faible, et inversement pour $g_m > g_{m+1}$. Enfin, et comme nous l'avons vu ci-dessus, l'échelle de renormalisation m correspond à une échelle physique définie relativement aux niveaux Λ^m et Λ^n (ou au niveau de basse énergie pour l'équation inverse).

Gell-Mann et Low semblent de nouveau avoir une interprétation assez différente du GR et de ses paramètres. Tout d'abord, dans leur cas, une « transformation du GR » correspond simple-

ment à un choix différent – et quelque peu arbitraire – de paramètre λ . Gell-Mann et Low ne prennent en effet pas explicitement en compte les effets physiques d'une autre « tranche » d'énergie pour définir les quantités renormalisées à une échelle donnée. Il semble donc approprié d'interpréter leur transformation comme un changement formel de « condition de renormalisation » paramétré par une échelle λ . Et leur équation du GR prend dès lors la forme d'une équation d'invariance vis-à-vis de la manière dont les quantités de la théorie sont renormalisées.

Qu'en est-il de l'« échelle de renormalisation » λ ? Les choses se compliquent quelque peu ici ⁶⁴. Dans la section 3 de leur article, il semble qu'il n'y ait pas d'hésitation possible : λ correspond à une échelle de coupure ultraviolette arbitraire. Elle élimine en effet les modes de haute énergie des champs électroniques et photoniques, et ne peut être interprétée, à proprement parler, comme une échelle de renormalisation dans son sens actuel (dans le cadre de la renormalisation perturbative). La section 4 de l'article s'appuie sur une technique de régularisation et de renormalisation un peu plus alambiquée. Gell-Mann et Low introduisent deux « échelles de coupures » λ et λ' , selon leur propre terme. En pratique, cependant, il semble que ces échelles soient mieux interprétées comme des « points de soustraction » arbitraires pour deux quantités différentes, Γ et W , à partir desquels il est possible d'exprimer les propagateurs des électrons et des photons S et D (dans la notation de Gell-Mann et Low). Autrement dit, l'échelle λ' (resp. λ) paramétrise la partie finie d'une quantité divergente $\Gamma_{\lambda'}$ (resp. W_{λ}) qui est soustraite à la quantité divergente initiale Γ (resp. W), de telle sorte que la différence soit finie et dépende de λ' (resp. λ). Cette échelle n'élimine donc pas les modes de haute énergie. Et cette interprétation semble également être renforcée par le fait que Gell-Mann et Low utilisent λ' et λ pour fixer la valeur des propagateurs renormalisés : lorsque l'énergie de l'électron (resp. du photon) est égale à λ' (resp. λ), le propagateur renormalisé des électrons (resp. photons) est égal à leur propagateur nu. Gell-Mann et Low remarquent par ailleurs que

64 - Pour différentes interprétations de ce paramètre dans l'article de Gell-Mann et Low, voir, par ex., Steven Weinberg, *Why the renormalization group is a good thing*, in Alan H. Guth, Kerson Huang et Robert L. Jaffe (dir.), *Asymptotic realms of physics : Essays in honor of Francis E. Low* (Cambridge, Mass. : MIT Press, 1983), 6 ; Fraser, *op. cit.* in n. 6, 121 ; Blum, *op. cit.* in n. 10, chap. 3.3 (« Gell-Mann, Low and the ultraviolet behavior of QED »).

si l'on remplace λ et λ' par des valeurs physiques – par exemple, la masse nulle des photons pour λ et la masse m des électrons pour λ' –, les propagateurs renormalisés sont égaux à ceux obtenus pour des points de soustraction physiques.

On pourrait être tenté d'attribuer une interprétation physique minimale à l'échelle λ (et λ') dans chaque cas de figure. (i) En tant qu'échelle de coupure, elle peut être interprétée comme une échelle d'énergie limite délimitant le domaine du modèle en question, et donc comme un « seuil physique » qui caractérise implicitement le type d'entité que le modèle peut décrire. (ii) En tant que point de soustraction, elle peut être interprétée comme l'échelle physique à laquelle le système devient nu et n'est donc plus affecté par des processus virtuels implicites. Il y a deux éléments en faveur de cette interprétation. D'une part, en section 4, les quantités renormalisées prennent leur valeur nue lorsque $k \rightarrow \lambda$, et si l'on prend $\lambda \rightarrow \infty$, on obtient les quantités nues originales, c'est-à-dire celles qui ne sont pas modifiées par des corrections radiatives. D'autre part, Gell-Mann et Low sont initialement motivés par une image plutôt physique de la charge effective des électrons : la valeur observée par une observatrice dépend de sa capacité à « passer au travers » du nuage de particules virtuelles qui entoure un électron au moyen de particules tests. Dans le cas hypothétique où il est possible de passer complètement au travers de ce nuage, l'observatrice mesure la charge nue des électrons.

Il semble toutefois que cette interprétation physique minimale ne soit pas tout à fait adéquate. Dans le premier cas de figure, Gell-Mann et Low sont en effet loin de considérer l'électrodynamique quantique comme une théorie effective dont le domaine est explicitement délimité par une échelle de coupure physique. L'échelle de coupure λ (et λ') n'a, au final, qu'un statut transitoire et ne prend de « sens physique minimal » que dans la limite $\lambda \rightarrow \infty$. À proprement parler, λ (et λ') ne constitue donc pas un « paramètre » de régularisation physique chez Gell-Mann et Low. Dans le deuxième cas, le « point de soustraction » λ (et λ') revêt également un caractère largement formel et ne jouit pas du même statut physique que l'échelle de renormalisation chez Wilson. Il ne correspond en effet ni à un seuil physique intermédiaire, ni à une échelle caractéristique d'interaction. Le pa-

paramètre physique clé chez Gell-Mann et Low est plutôt le paramètre k . C'est le paramètre que l'on envoie à l'infini pour évaluer le comportement asymptotique des quantités renormalisées et donc, dans la limite, la valeur « physique » des quantités nues. Et c'est également le paramètre « opérationnel » de l'observatrice dans l'image heuristique de Gell-Mann et Low. En un mot, le « point de soustraction » λ se réduit de nouveau à une échelle arbitraire sans signification physique particulière.

Épilogue : L'évolution du GR wilsonien de 1965 à 1974

Wilson est donc arrivé en 1965 à une première version du groupe de renormalisation qui semble être à la fois remarquablement proche de sa version aboutie du début des années 1970 et remarquablement différente du groupe de renormalisation de Gell-Mann et Low. Les sept années qui suivent vont lui permettre de clarifier la structure conceptuelle et méthodologique de cette première version, et dont la version finale apparaît à mon sens vers 1971-1972, avant d'être enfin publiée dans le compte rendu des conférences de Princeton datant de 1974⁶⁵. Je vais conclure en retraçant brièvement l'évolution du GR wilsonien de 1965 à cette date clé⁶⁶.

Le premier élément décisif par la suite vient de la rencontre plutôt fortuite de Wilson avec la physique des états solides. Il est important de signaler ici qu'il existe déjà à ce stade des liens forts entre ce domaine de la physique statistique et la physique des particules, notamment en raison d'un transfert accru de concepts et de méthodes depuis la fin des années 1940⁶⁷. Malgré cela, Wilson ne s'est pour l'instant que très peu intéressé à la physique des états solides. C'est donc par un heureux hasard

65 - Wilson et Kogut, *op. cit.* in n. 1.

66 - Pour plus de détails, voir Rivat, *op. cit.* in n. 7, sect. 7-10.

67 - Pour plus de détails, voir, par ex., Lillian Hoddeson, Ernest Braun, Jürgen Teichmann et Spencer Weart (dir.), *Out of the crystal maze : Chapters from the history of solid-state physics* (Oxford University Press, 1992); Arianna Borrelli, The Story of the Higgs boson : The origin of mass in early particle physics, *The European physical journal H : Historical perspectives on contemporary physics*, 40/1 (2015), 1-52; Schweber, 2015, *op. cit.* in n. 4; Rocco Gaudenzi, *Historical roots of spontaneous symmetry breaking : Steps towards an analogy* (Springer, 2022).

qu'il participe à un séminaire de Benjamin Widom à Cornell vers la fin de l'année 1965 ou au début de l'année 1966 au cours duquel ce dernier présente sa nouvelle « hypothèse d'échelle », selon laquelle l'équation d'état d'un système fluide prend une forme asymptotique remarquablement simple lorsque le système se rapproche d'un état critique. Wilson trouve particulièrement frappante la similarité du comportement d'échelle de cette équation avec ses propres résultats dans le cadre de la physique des particules. Il en vient à découvrir rapidement la « transformation par bloc » de Kadanoff⁶⁸. Il approfondit également sa connaissance des phénomènes critiques au travers de nombreuses conversations avec Michael Fisher. Et il ajoute dans son laboratoire théorique toute une variété de modèles simplifiés tels que le modèle d'Ising. Aux yeux de Wilson, que l'on parle de physique des particules ou des états solides, le système étudié implique dans chaque cas de nombreux degrés de libertés à différentes échelles qui ne participent pas tous avec la même importance à une échelle donnée.

Wilson passera les cinq années suivantes à essayer de mieux comprendre la structure exacte de la transformation du GR proposée en 1965. Les versions de Gell-Mann et Low et de Kadanoff lui apparaissent en effet bien trop simplifiées : ils ne prennent pas en compte les termes d'interaction d'ordre supérieur qui apparaissent automatiquement lorsque l'on se déplace d'une échelle à une autre, et qui correspondent, dans le cadre de la physique des particules, à des termes d'interaction non renormalisables (au sens de Dyson). Pour Wilson, tout modèle effectif semble en effet prendre la forme d'un développement en un paramètre d'échelle donné, et dont les termes d'interaction d'ordre élevé encodent des effets de plus en plus raffinés provenant d'autres échelles. Il n'a toutefois pas de preuve que ce type de développement converge et qu'il existe un nombre fini de termes à chaque ordre. Wilson s'attellera durant les années suivantes à essayer de démontrer que cela est bien le cas et, de manière plus générale, que l'espace dans lequel les modèles effectifs vivent est bien défini mathématiquement. Les résultats sont publiés en 1970⁶⁹. À ce stade, les termes non

68 - Kadanoff, *op. cit.* in n. 5.

69 - Wilson, 1970, *op. cit.* in n. 41.

renormalisables sont devenus parfaitement acceptables pour Wilson, même dans le cadre de la physique des particules. L'idée d'intégrer les degrés de liberté de haute énergie est clarifiée. Les concepts d'«espace des théories» et de transformation du GR sont éclaircis. Wilson s'est même rendu compte qu'il n'a pas besoin de faire l'hypothèse d'une séparation d'échelle importante pour mettre en œuvre une transformation du GR : une telle séparation permet seulement de négliger les termes d'interaction d'ordre plus élevé⁷⁰.

Wilson en vient durant les trois années qui suivent à clarifier la structure mathématique et conceptuelle du GR. Il publie tout d'abord deux articles en 1971 qui se concentrent sur le GR dans le cadre des phénomènes critiques⁷¹. Dans le premier, Wilson fournit pour la première fois une image topologique du «flot du groupe de renormalisation» dans l'espace des théories, qui est, selon ses propres termes, jonché par des «collines», des «ravins» et des «crêtes⁷²». Dans le second article, Wilson clarifie la structure mathématique de cet espace. Il s'agit également de la première fois où Wilson intègre de manière explicite des degrés de liberté de haute énergie tel qu'il est commun de le faire aujourd'hui – le lien avec l'intégrale de chemin apparaît dans une série de notes de lecture en 1972⁷³. Wilson publie également un troisième article en 1971, cette fois dans le cadre de la physique des hautes énergies⁷⁴. C'est l'occasion pour lui de revenir sur les travaux de Gell-Mann et Low, et de fournir une analyse plus détaillée des comportements d'échelle des TQC de l'interaction forte à hautes énergies – il ne prend, malheureusement pour lui, pas au sérieux la possibilité de la liberté asymptotique.

70 - En comparaison, Wilson nous disait par exemple en 1965 : « Nous pouvons nous attendre à ce que la disparité d'énergie [entre les mésons de chaque tranche] soit d'une importance fondamentale dans l'élaboration d'une théorie de la renormalisation pour les hamiltoniens des théories relativistes » (Wilson, *op. cit. in* n. 3, B457, ma traduction).

71 - Kenneth G. Wilson, Renormalization group and critical phenomena, part. I, Renormalization group and the Kadanoff scaling picture, *Physical review B*, 4/9 (1971), 3174-3183; Renormalization group and critical phenomena, part. II, Phase-space cell analysis of critical behavior, *Physical review B*, 4/9 (1971), 3184-3205.

72 - Wilson, Renormalization group and critical phenomena, part. I, *op. cit. in* n. 71, 3180.

73 - Kenneth G. Wilson, Unpublished lectures on the renormalization group given at Cornell, «Renormalization Group : II», Lecture notes by J. Serene, Cornell University Library, Kenneth G. Wilson papers, boîte 1, dossier 25.

74 - Wilson, 1971, *op. cit. in* n. 41.

À partir du printemps 1972, Wilson donne également une série de conférences sur le thème du GR qui seront rédigées par John Kogut, soumises pour publication le 2 juillet 1973, et finalement publiées en 1974⁷⁵. Ce manuscrit de cent vingt-cinq pages deviendra la référence clé du GR wilsonien pour les décennies à venir.

L'histoire qui s'ensuit est particulièrement complexe et ne peut malheureusement pas être traitée ici. Mais il semble toutefois opportun de conclure par quelques mots sur l'impact respectif du GR de Wilson et de Gell-Mann et Low. D'une part, il semble que la tradition de recherche provenant des travaux de Wilson et de Kadanoff ait eu un fort impact sur la communauté des physiciens travaillant à l'intersection de la physique des particules et de la matière condensée. Cet impact semble toutefois être plus limité du côté de la physique des particules, probablement en partie du fait que le succès des théories de jauge non abélienne ait renforcé l'espoir d'une TQC renormalisable au début des années 1970. En comparaison, la tradition de recherche émanant de Gell-Mann et Low semble avoir eu un impact fondamental sur la physique des hautes énergies. Et il n'est pas rare de retrouver une distinction conceptuelle et méthodologique claire entre le GR wilsonien et le GR de Gell-Mann et Low (aussi appelé le GR du continuum) dans la physique actuelle. Comme le résume Matthew Schwartz dans un livre assez récent sur la TQC :

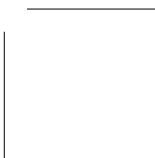
L'expression « groupe de renormalisation » fait référence à l'invariance des observables lorsque l'on change la manière dont les choses sont calculées. Il existe deux versions du groupe de renormalisation utilisées en théorie quantique des champs : le groupe de renormalisation wilsonien et le groupe de renormalisation du continuum.

Le premier est défini par la structure d'invariance que présente une théorie de basse énergie vis-à-vis de la valeur précise d'une échelle de coupure, après avoir intégré les degrés de liberté de haute énergie ; le second par la structure d'invariance que présente une théorie hypothétiquement définie à toutes les échelles d'énergie vis-à-vis de la condition de renormalisation imposée lorsque l'on soustrait ses divergences. Le premier se

75 - Wilson et Kogut, *op. cit.* in n. 1.

La genèse du groupe de renormalisation wilsonien

prête plus facilement à une interprétation physique claire : la théorie effective encode des effets physiques de haute énergie selon ses propres termes ; le second reste en grande partie une procédure formelle : de nouveaux termes paramétrisés par une échelle arbitraire sont introduits afin d'éliminer, d'une manière largement *ad hoc*, un certain nombre de divergences ultraviolettes. Et il semble, comme nous l'avons vu, que ces différences conceptuelles et méthodologiques soient déjà présentes dans les travaux préliminaires de Wilson et de Gell-Mann et Low sur le groupe de renormalisation.



SOURCES ET RECHERCHE

Le *Traité des ombres* de Monge Édition critique commentée *

Dominique Raynaud **

Résumé : Les éditions du XIX^e siècle donnent le *Traité des ombres* de Gaspard Monge pour une application ou un complément de la Géométrie descriptive. Cette présentation est anachronique : la première copie manuscrite du traité est datée 1766 ; la Géométrie descriptive a été enseignée à l'École polytechnique et à l'École normale à partir de 1795, et publiée en 1799. Le traité est donc antérieur de trente ans à la Géométrie descriptive dont il est l'application. Nous donnons ici l'édition critique du *Traité des ombres* sur les copies manuscrites des élèves de Monge à l'école royale du génie de Mézières. L'édition critique vise à restituer le texte dans sa forme d'origine. Un commentaire linéaire explicite tous les passages faisant appel aux concepts de l'optique et de la perspective, occultés par l'application de la géométrie descriptive.

Mots-clés : ombres ; optique ; perspective ; géométrie descriptive ; Gaspard Monge.

Summary: In 19th century editions, Gaspard Monge's *Traité des ombres* is given as an application or complement to Descriptive Geometry. This presentation is anachronistic: the first handwritten copy of the treatise is dated 1766; Descriptive Geometry was taught at the École Polytechnique and the École Normale from 1795, and published in 1799. The treatise therefore predates Descriptive Geometry by thirty years. This is a critical edition of the *Traité des ombres* based on handwritten copies made by Monge's students at the École royale du génie de Mézières. The critical edition aims to restore the text to its original form. A linear commentary explains the passages referring to the

* Ce travail, resté longtemps en chantier, est né d'un premier échange avec Joël Sakarovitch lors du 2^e congrès d'histoire de la construction (Lyon, 29-31 janvier 2014). Je remercie Olivier Azzola (centre de ressources historiques de l'École polytechnique) de m'avoir fourni une copie du manuscrit P, et les rapporteurs anonymes de l'article de m'avoir incité à développer certains passages.

** Dominique Raynaud, mha-ENSAG, Université Grenoble Alpes, CS 40700, 38058 Grenoble Cedex 9. Email : dominique.raynaud@univ-grenoble-alpes.fr.

concepts of optics and perspective, obscured by the application of Descriptive Geometry.

Keywords: shadows; optics; perspective; descriptive geometry; Gaspard Monge.

Introduction

Gaspard Monge (1746-1818) est connu pour ses recherches sur les méthodes descriptives¹, qui culminent dans la parution de la *Géométrie descriptive* en 1799², et pour le rôle qu'il a joué dans la création des deux écoles révolutionnaires : l'École normale de l'an III et l'École centrale des travaux publics, renommée École polytechnique³.

On rappellera tout d'abord les principaux jalons historiques de cette science nouvelle. Une première occurrence du syntagme Géométrie descriptive apparaît le 24 fructidor an I (10 septembre 1793) dans le *Projet de décret concernant l'instruction nationale*. Il est prévu au Titre II, régissant l'enseignement des Écoles élémentaires des arts et d'économie sociale, qu'on enseignera dans ces écoles « la géométrie descriptive ou graphique⁴ ». On notera l'hésitation : « géométrie descriptive ou graphique », indice que la terminologie est à peine fixée à cette date.

Une deuxième occurrence du syntagme Géométrie descriptive apparaît dans le décret de la Convention du 21 ventôse an II (11 mars 1794) fixant les matières devant être enseignées à l'École polytechnique. La Géométrie descriptive est présentée comme

1 - Pour éviter les périphrases, je distinguerai entre « géométrie descriptive » (les méthodes de projection sans référence à une époque précise), « Géométrie descriptive » (les mêmes méthodes enseignées de façon systématique par Monge à partir de 1795), *Géométrie descriptive* (les mêmes méthodes publiées à partir de 1799).

2 - Monge, *Géométrie descriptive*, leçons données aux écoles normales, l'an 3 de la République (Paris : Baudouin, an VII = 1799).

3 - Bruno Belhoste, Les origines de l'École polytechnique : Des anciennes écoles d'ingénieurs à l'École centrale des travaux publics, *Histoire de l'éducation*, 42 (1989), 13-53; Bruno Belhoste et René Taton, L'invention d'une langue des figures, in J. Dhombres (dir.), *L'École normale de l'an III*, vol. 1, *Leçons de mathématiques : Laplace – Lagrange – Monge* (Paris : Dunod, 1992), 269-303; Évelyne Barbin, Descriptive geometry in France, in É. Barbin, M. Menghini et K. Volkert (dir.), *Descriptive geometry : The spread of a polytechnic art* (Cham : Springer, 2019), 19-38.

4 - *Projet de décret concernant l'instruction nationale, présenté par le Bureau de consultation des Arts et Métiers* (Paris : Imprimerie des citoyens Dupont, s. d.), 7.

l'art de décrire les formes et les positions des objets passibles d'une définition rigoureuse (le dessin s'occupant des objets ne pouvant pas être définis rigoureusement). Elle tire son caractère fondamental du fait qu'elle est « une langue nécessaire et commune à l'homme de génie qui conçoit un projet, aux artistes qui doivent en diriger l'exécution, et aux ouvriers qui doivent l'exécuter⁵ ». Le décret de la Convention sera détaillé dans les Programmes de l'enseignement polytechnique de pluviôse an III⁶ (janvier-février 1795).

Dans le cours de Géométrie descriptive donné à l'École normale un an plus tard, le 21 ventôse an III (11 mars 1795), Monge établit un parallèle entre les méthodes algébriques d'élimination et les opérations d'intersection de la géométrie descriptive :

Dans l'algèbre, lorsqu'un problème est mis en équations, et qu'on a autant d'équations que d'inconnues, on peut toujours obtenir le même nombre d'équations, dans chacune desquelles il n'entre qu'une des inconnues; ce qui met à portée de connaître les valeurs de chacune d'elles. L'opération par laquelle on parvient à ce but, et qui s'appelle élimination, consiste, au moyen d'une des équations, à chasser une des inconnues de toutes les autres équations, et en chassant ainsi successivement les différentes inconnues, on arrive à une équation finale qui n'en contient plus qu'une seule, dont elle doit produire la valeur. L'objet de l'élimination, dans l'algèbre, a la plus grande analogie avec les opérations, par lesquelles, dans la géométrie descriptive, on détermine les intersections des surfaces courbes [...]

Actuellement si, ayant en x , y , z , les équations de deux surfaces courbes différentes; et en supposant que pour les points des deux surfaces, les distances soient prises aux mêmes plans rectangulaires, on élimine une des trois quantités x , y , z , par exemple z , entre les deux équations; par la simultanéité de ces deux équations, on établit d'abord que ce n'est pas de tous les points de la première surface indistinctement, ni de tous ceux de

5 - *Développemens sur l'enseignement adopté pour l'École centrale des travaux publics, décrétée par la Convention nationale, le 21 ventôse, an 2e de la République* (s.l., s.d.), 4.

6 - *Programmes de l'enseignement polytechnique de l'École centrale des travaux publics, établie en vertu des décrets de la Convention nationale, des 21 ventôse, an deuxième, & 7 vendémiaire, an troisième de la République* (Paris : Imprimerie nationale, an III = 1795).

la seconde, que l'on s'occupe; mais seulement de ceux de leur intersection, pour chacun desquels les deux équations doivent avoir lieu, puisqu'ils sont en même tems sur les deux surfaces⁷.

En comparant ces textes de l'an I à l'an III de la République, on note que le projet ambitieux de Monge s'est considérablement limité, en même temps qu'il s'est précisé. En l'an III, la Géométrie descriptive n'est plus destinée à l'enseignement secondaire, mais seulement aux meilleurs élèves de l'École normale et de l'École polytechnique.

Monge s'est intéressé à des sujets d'optique⁸ qui ne sont pas étrangers à la naissance de cette nouvelle branche de la géométrie, mais dont le rapport est quelque peu faussé par le triomphe de la Géométrie descriptive.

Théorie des ombres avant Monge

Dans l'histoire longue de l'optique, les ombres ont été étudiées sous deux points de vue principaux.

Certains travaux se sont occupés du tracé de l'ombre, c'est-à-dire de la détermination géométrique des limites de l'ombre. On trouve déjà la marque de cette approche dans la classification des ombres (ombre conique, cylindrique ou calathoides) qui semble avoir été proposée par Aristarque de Samos, « Sur les tailles et les distances du soleil et de la lune », prop. 1-2⁹, avant d'être introduite en optique par Théon d'Alexandrie, *Opticorum recensio*, prologue¹⁰. Cette classification (qui donne une description erronée des ombres, puisqu'elle néglige la pénombre produite par la source de lumière étendue) a été reprise et

7 - *Séances des Écoles normales, recueillies par des sténographes, et revues par les professeurs*, première partie, leçons, tome troisième (Paris : Reynier, s. d.), 61-106, 62, 64-65.

8 - Les archives de l'École polytechnique conservent également de Monge un « Essai d'une explication de la double réfraction qu'éprouve la lumière en passant au travers du crystal d'Islande » (Archives, IX GM 24.3) et un « Mémoire sur quelques phénomènes de la vision » (Archives, IX GM 27).

9 - Thomas Heath, *Aristarchus of Samos, the ancient Copernicus : A history of Greek astronomy to Aristarchus together with Aristarchus's Treatise on the sizes and distances of the sun and moon* (Oxford : Clarendon Press, 1913), 354-361.

10 - J. L. Heiberg (éd.), *Euclidis opera omnia*, vol. 7, *Euclidis Optica, Opticorum recensio Theonis, Catoptrica* (*Euclidis Opera Omnia* (Leipzig : Teubner, 1895), 144-145.

popularisée par al-Kindī, *Liber de causis diversitatum aspectus*, prop. 1-3¹¹, puis reproduite dans de nombreux traités d'optique médiévale comme ceux de Bacon, de Witelo, ou de Pecham¹². Le changement fondamental n'est intervenu que plus tard, lorsque les mathématiciens de la Renaissance ont utilisé des méthodes de projection pour résoudre les problèmes de perspective linéaire. Guidobaldo del Monte donne des méthodes rigoureuses du tracé des « ombres au flambeau¹³ » (la source ponctuelle étant située à distance finie, les rayons divergent à partir de la source). Vaulezard, Desargues et Dubreuil enrichiront rapidement l'étude géométrique des ombres par la construction des « ombres au soleil¹⁴ » (la source de lumière étant située à très grande distance ou à l'infini, on considère des rayons parallèles). Ces méthodes ont été reprises si bien que, quelques décennies plus tard, la plupart des traités de perspective sont suivis d'un appendice expliquant les méthodes pour tracer les ombres au flambeau et au soleil.

Plus rares sont les travaux qui se sont occupés de la nature de l'ombre, de son intensité, et de la pénombre où s'opère un mélange d'ombre et de lumière. Mis à part al-Bīrūnī, « Traité séparé

11 - Roshdi Rashed, *Œuvres philosophiques et scientifiques d'al-Kindī*, vol. 1, *L'Optique et la catoptrique* (Leiden : Brill, 1997), 440-445; Dominique Raynaud, *L'Optica di al-Kindī e la sua eredità latina*, in S. Ebert-Schifferer et al. (dir.), *Lumen, imago, pictura* (Roma : De Luca, 2018), 173-204.

12 - Roger Bacon, *De speculis comburentibus* II, 9 = David C. Lindberg (éd. et trad.), *Roger Bacon's philosophy of nature : A critical edition, with English translation, introduction, and notes, of the « De multiplicatione specierum » and « De speculis comburentibus »* (South Bend : St. Augustine's Press, 1983), 163; Witelo, *Perspectiva* II, 26-27 = *Opticae thesaurus... item Vitellonis Thuringopoloni libri X* (Bâle : per Episcopios, 1572), 71; Sabetai Unguru (éd.), *Witelonis perspektivae liber secundus et tertius : A critical Latin edition and English translation with introduction, notes and commentaries* (Wrocław : Ossolineum, 1991), 257-258; John Pecham, *Perspectiva communis* I, 24 = David C. Lindberg, *John Pecham and the Science of Optics : Perspectiva communis* (Madison : University of Wisconsin Press, 1970), 100-102.

13 - Guidobaldo del Monte, *Perspectivae libri sex* (Pesaro : Concordia, 1600), livre V, 245-282.

14 - Jean-Louis Vaulezard, *Abrégé ou racourcy de la perspective par l'imitation* (Paris : chez l'Auteur, 1631), 32 (ombres au soleil et au flambeau); Jean Dubreuil, *Perspective pratique* (Paris : Tavernier, 1642), 129-130 (définitions), 132-140 (ombre au soleil), 141-150 (au flambeau); Abraham Bosse, *Manière universelle de Mr Desargues, pour pratiquer la perspective par petit-pied comme le geometral* (Paris : Des-Hayes, 1648), 177 (définitions), 183-169 (ombre au flambeau), 170-195 (au soleil). La pagination est défectueuse.

sur le problème des ombres», chap. 5¹⁵, qui ne fait pas d'analyse géométrique de l'intensité de l'ombre, tous les travaux ont utilisé le principe de l'analyse punctiforme de la lumière, qui consiste dans la décomposition de la source de lumière en éléments finis, la projection des éléments séparés sur un écran, et l'interprétation de la pénombre comme superposition des éléments projetés. L'un des premiers auteurs à avoir résolu ainsi le problème de la pénombre est Ibn al-Haytham, «Épître sur la qualité des ombres», prop. 1 et 4¹⁶. Sans même qu'on puisse évoquer un emprunt par la voie des transmissions arabo-latines, plusieurs auteurs européens ont appliqué ces principes d'analyse. Leonardo da Vinci a adopté cette approche dans ses notes du MS C de l'Institut de France et dans le *Codex atlanticus*, fol. 650r¹⁷. Notons que Vinci distingue les «ombres propres» (*ombre primitive*), le «cône d'ombre» (*ombra dirivativa*) et les «ombres portées» (*percussioni delle ombre dirivative*). Quelques décennies plus tard, Francesco Maurolico appliquera l'analyse punctiforme de la lumière à l'étude de la pénombre, dans *Photismi de lumine et umbra*, théorème 18¹⁸. Bien qu'un accès aux notes de Leonardo ne soit pas exclu, on ne sait rien de certain sur les sources de l'abbé de Messine. Il convient enfin de mentionner qu'on doit à Kepler d'avoir fixé le terme *penumbra* dans les *Paralipomena ad Vitellionem*¹⁹.

Tel est l'état de l'art au moment où Gaspard Monge rédige son

15 - Muḥammad ibn Aḥmad al-Bīrūnī, «Traité séparé sur le problème des ombres» (*Ifṛād al-maqāl fī amr al-zilāl*), in *id.*, *The Exhaustive Treatise on Shadows*, 2 vols., éd. et trad. E. S. Kennedy (Alep : Institute for the History of Arabic Science, 1976), 51-53; Pavel G. Bulgakov et Boris A. Rosenfeld, *Abu Raihan Beruni, 973-1048, izbrannye proizvedeniia*, t. 7, *Matematicheskie i astronomicheskie traktaty* (Tashkent : FAN, 1987), 146.

16 - Ibn al-Haytham, «Épître sur la qualité des ombres» (*Maqāla fī kayfiyyat al-azlāl*); Eilhard Wiedemann, Über eine Schrift von Ibn al-Haitam Über die Beschaffenheit der Schatten, *Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen*, 39 (1907), 226-248; Dominique Raynaud, *A critical edition of Ibn al-Haytham's On the shape of the eclipse* (Cham : Springer, 2016), 93-95.

17 - Thro E. Broydrick, Leonardo's early studies of shadows, *Achademia Leonardi Vinci*, 9 (1996), 42-50; Dominique Raynaud, A hitherto unknown treatise on shadows referred to by Leonardo da Vinci, in S. Dupré (dir.), *Perspective as practice : Renaissance cultures of optics* (Turnhout : Brepols, 2019), 259-277.

18 - Francesco Maurolico, *Photismi de lumine & umbra ad perspectivam, & radiorum incidentiam facientes* (Naples : Longo, 1611), 13; *Francisci Maurolyci Optica*, éd. Riccardo Bellè et Ken'ichi Takahashi (Pisa : Serra, 2017), 59.

19 - Johannes Kepler, *Ad Vitellionem paralipomena, quibus Astronomiae pars optica traditur* (Frankfurt : Marnius, 1604), 239-342.

Traité des ombres : Monge dispose à la fois de méthodes géométriques permettant de trouver les limites de l'ombre, et de l'analyse punctiforme de la lumière qui permet de déterminer la gradation d'ombre et de lumière dans la pénombre. Comme nous allons le voir, la particularité du traité de Monge est de combiner ces deux approches.

Contenu du traité

Si l'on rapporte le *Traité des ombres* à ces deux orientations de la science des ombres, on constate que l'objectif principal de Monge est de déterminer les limites géométriques de l'ombre. Dès 1766 – trente ans avant le cours de Géométrie descriptive donné à l'École normale et à l'École polytechnique – il détermine l'ombre au moyen des procédés d'une géométrie descriptive naissante, encore dépourvue du cadre que lui apportera le Cours de l'an III. Le traité utilise déjà la double projection (frontale et horizontale), la coordination des vues et les lignes de rappel entre les vues. Rapportés à l'œuvre de Monge, ces procédés montrent que le *Traité des ombres* a joué un rôle décisif dans le développement des méthodes de la future Géométrie descriptive. Rapportés à l'histoire universelle, ces procédés réservent un diagnostic plus nuancé, puisque la plupart d'entre eux ont été utilisés dans le domaine de l'architecture et de la perspective aux siècles précédents²⁰. Une clarification de l'apport de Monge est donc nécessaire. Sa contribution semble avoir été essentiellement normative : elle a consisté à combiner ces procédés élémentaires, à résoudre une grande variété de problèmes par intersection, changement de plan, rotation et rabattement, et surtout à donner à ces méthodes un caractère systématique adapté à leur

20 - Ces procédés ont été transmis à la fois à l'écrit et oralement. Pour s'en tenir à la culture écrite, plus facile à documenter, la méthode de la double projection et les lignes de rappel sont attestées au moins chez Piero della Francesca vers 1475 dans *De prospectiva pingendi*, éd. Chiara Gizzi (Venezia : Ca' Foscari, 2016), fol. 8r, 8v, 9r, 9v, 12r, 12v, 33r, 34r; Francesco di Giorgio Martini, *Trattato d'architettura* (Firenze, BNCF, MS II.I.141, 1480), fol. 37r; Albrecht Dürer, *Underweysung der Messung* (Nürnberg, 1525), fol. 7v, 9r, 17v, 18r; Sebastiano Serlio, *Libro d'architettura*, vol. 4, *Regole generali di architettura* (Venise : de' Franceschi, 1584), fol. 128r, 169v; Federico Commandino, *In Planisphaerium Ptolemaei commentarius* (Venise : Aldus, 1558), fol. 2v, 4v, 15r; Giovanni Battista Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum, & physicarum liber : De rationibus operationum perspectivae* (Turin : Bevilacqua, 1585), 119, 125, 127; Guidobaldo del Monte, *Perspectivae libri sex* (Pesaro : Concordia, 1600), 57, 58, 61, etc.

enseignement. Dans le *Traité des ombres*, les méthodes descriptives sont introduites dans le commentaire de la fig. 5 (lignes 133-136). Les points de l'ombre sont déterminés par la méthode d'intersection des rayons fixée par Guidobaldo del Monte, à la fois dans le problème principal (lignes 184-185) et dans les exercices (lignes 241-242, 299-300). Conformément au partage entre « géométrie descriptive » et « dessin », Monge n'étudie dans le traité que des corps simples : un point et une sphère (fig. 1-2), deux sphères (fig. 3-4), un cube (fig. 6), un point (fig. 7), un cylindre et un plan incliné (fig. 8), un puits de retranchement, ouvrage de fortification tronconique²¹ (fig. 9).

Toutefois, comme ces méthodes descriptives apparaissent dans des exercices de rendu des ombres, elles requéraient de prendre en compte des aspects non strictement géométriques. Le *Traité des ombres* témoigne ainsi d'une approche qualitative des ombres, qui justifie les références à l'optique qu'on y trouve. Sur ces sujets, les idées de Monge ne sont pas moins intéressantes qu'en matière de géométrie.

Si l'on recense dans le traité tous les concepts étrangers à la Géométrie descriptive, on trouve tout d'abord des références aux concepts de l'optique classique. Monge mentionne : la propagation de la lumière à une vitesse « qui échappe à nos sens », ce qui rappelle la thèse souvent reprise d'Ibn al-Haytham (ligne 5); le principe de propagation rectiligne des rayons visuels ou lumineux, soutenu par les auteurs anciens depuis au moins Euclide (*ibid.*); le principe de l'analyse punctiforme de la lumière, utilisé par Ibn al-Haytham, Vinci, Maurolico et Kepler, qui explique la formation de l'ombre d'un corps éclairé par une source étendue (lignes 71-81); la désignation du mélange d'ombre et de lumière par le nom de « pénombre » tiré, directement ou indirectement, de Kepler (ligne 88). D'autres références à l'optique sont plus nouvelles. Monge modifie habilement le principe de propagation rectiligne pour tenir compte de la réfraction dans les milieux inhomogènes, qu'il tire vraisemblablement de la lecture de Hooke, Huygens ou Maraldi (ligne 5); Monge rappelle également la loi

21 - Sur le choix de Monge de remplacer les corps concrets de Chastillon par des corps géométriques, on lira Bruno Belhoste, Du dessin d'ingénieur à la géométrie descriptive : L'enseignement de Chastillon à l'École royale du génie de Mézières, *In extenso*, 13 (1990), 103-135, 116.

de photométrie de Bouguer (lignes 46-49); et montre son adhésion à la théorie de l'émission de Newton, relayée en France par Laplace, Biot et Malus (lignes 112-113).

On trouve ensuite des références à la perspective et au dessin (lignes 114-121), en particulier lorsque Monge divise son traité en étude de « l'ombre au soleil », selon les constructions de Dubreuil et de Desargues (lignes 122-305), et étude de « l'ombre au flambeau », selon les constructions enseignées par Guidobaldo del Monte (lignes 308-388). Monge paraît également bien informé de la façon de rendre le dégradé des ombres et les reflets, déjà décrits par Bosse, qui était l'élève de Desargues, mais aussi par Nicolas de Chastillon, qui fut le prédécesseur de Monge à l'École du génie de Mézières. Monge montre une certaine familiarité avec la pratique du lavis, technique utile à la représentation du relief dans le dessin des fortifications, et à ce titre partie intégrante de l'enseignement polytechnique (lignes 121, 197). Au-delà des principes mathématiques, Monge devait avoir une maîtrise des techniques graphiques que requièrent ces exercices.

Tous ces aspects seront discutés en détail dans le commentaire linéaire qui suit l'édition du texte.

Datation

Précisons maintenant la chronologie du traité, que les recherches historiques ont permis d'affiner progressivement.

Dans une première étude de la question, René Taton écrit : « Le manuscrit d'un cours sur la théorie des ombres permet de penser que vers 1775, les principes, les méthodes voire le langage de la nouvelle doctrine sont déjà clairement élaborés dans l'esprit de Monge. Mais ce n'est qu'à la fin de 1794, lors de la mise au point des programmes de la future École polytechnique et au début de 1795²², dans les leçons que Monge donne tant aux élèves de

22 - Monge reprendra des éléments des ombres et de la perspective dans les leçons de stéréotomie données du 21 nivôse au 19 pluviôse an III (10 janvier-7 février 1795). Le plan du cours a été conservé : « 6e et 7e leçons [27-28 nivôse an III : 16-17 janvier 1795] : Application de la géométrie descriptive à la construction rigoureuse du contour de l'ombre d'un corps quelconque portée sur une surface quelconque [...] », Jean Nicolas Pierre Hachette, *Traité de géométrie descriptive, comprenant les applications de cette géométrie aux ombres, à la perspective et à la stéréotomie* (Paris : Corby, 1828), ix.

cette école qu'à ceux de l'École normale de l'an III, qu'il révéla publiquement l'esprit, le vocabulaire, le contenu et les méthodes de la discipline nouvelle qu'il avait fondée depuis plus de vingt ans²³ ».

Les recherches ultérieures de Belhoste et Taton ont permis de référer les traités sur les ombres et la perspective à l'année 1768. Après avoir relaté l'arrivée de Monge à Mézières, Belhoste et Taton écrivent :

Ses remarquables aptitudes mathématiques attirèrent bientôt l'attention du professeur de mathématiques de l'école, l'abbé Charles Bossut, qui l'employa à partir de 1766 comme répétiteur officieux de son cours. Deux ans plus tard, Monge remplaça Bossut dans son enseignement, tout en conservant le titre de répétiteur. C'est probablement à cette époque [1768] qu'il écrit pour ses élèves deux petits traités, *De la perspective* et *Des ombres*, qui sont les premiers textes connus dans lesquels il utilise les méthodes de la géométrie descriptive²⁴.

Les plus anciennes copies connues [de ces traités sur les ombres et la perspective] ont été rédigées en 1768 par Joseph Gabriel Monnier, alors élève à Mézières²⁵.

Les manuscrits collationnés incitent à corriger les dates putatives 1775 et 1768. Belhoste et Taton se fondent sur la copie de Monnier conservée par le Service historique de l'Armée de Terre de Vincennes, qui est datée 1768. Or, depuis leur étude, de nouvelles copies manuscrites sont apparues, dont celle du centre de ressources historiques de la bibliothèque de l'École polytechnique de Palaiseau (Archives, IX GM 16.1.4), sur laquelle on lit nettement la date « 1766 ». Cette découverte permet d'antidater la rédaction du *Traité des ombres* de deux ans : nous savons donc que Monge enseignait déjà la théorie des ombres alors qu'il venait d'être nommé répétiteur de Bossut à l'École royale du génie

23 - René Taton, La Mathématisation des techniques graphiques. Les grandes étapes : des origines à Dürer, à Desargues et à Monge, *Technologies, idéologie et pratiques*, 5 (1986), 11-35, 28 ; repris dans *Études d'histoire des sciences* (Turnhout : Brepols, 2000), 305-328, 321.

24 - Belhoste et Taton, *op. cit.* in n. 3, 303.

25 - Belhoste et Taton, *op. cit.* in n. 3, 339, note 5.

Mézières²⁶, c'est-à-dire bien avant qu'il ne donne ses premières leçons de Géométrie descriptive en 1795, et qu'il ne publie la *Géométrie descriptive* en 1799.

Rapport du *Traité des ombres* à la Géométrie descriptive

Dans les éditions du XIX^e siècle, le *Traité des ombres* est placé après l'exposé des méthodes de la Géométrie descriptive, et est toujours présenté comme une « application » ou un « complément » de cette science.

Placer le *Traité des ombres* dans le sillage de la Géométrie descriptive est commode du point de vue pédagogique, mais historiquement inexact, puisque le texte a été rédigé en 1766, trente ans avant que Monge n'enseigne la Géométrie descriptive. Il est utile de savoir qui a introduit ce rapport de subordination anachronique, et de préciser les circonstances de son introduction. Une rétrochronologie est à même d'en retracer les étapes.

En 1847, Théodore Olivier, ancien élève de l'École polytechnique, insère les deux traités des ombres et de la perspective dans son recueil des *Applications de la géométrie descriptive aux ombres, à la perspective, à la gnomonique et aux engrenages*. Le texte explique ainsi le rapport de subordination des ombres vis-à-vis de la Géométrie descriptive :

Le problème des ombres à déterminer sur une surface donnée, se trouve complètement résolu dans le Cours de géométrie descriptive [...] D'après ce qui précède, on doit comprendre que sous le point de vue théorique il ne reste plus rien à faire²⁷ [...].

26 - L'École de Mézières, créée par Chastillon et d'Argenson en 1748, a pris le titre d'École royale du génie de Mézières en 1777. Elle sera transférée à Metz en 1793, puis à Fontainebleau en 1871. Sur l'école, voir René Taton, L'École royale du génie de Mézières, in R. Taton, *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle* (Paris : Hermann, 1964), 559-615 ; René Taton, Anne Blanchard, Bruno Belhoste, Roger Chartier, Un recrutement scolaire au XVIII^e siècle : L'École royale du Génie de Mézières, *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, 20 (1973), 353-375 ; Bruno Belhoste, Antoine Picon, Joël Sakarovitch, Les Exercices dans les écoles d'ingénieurs sous l'Ancien Régime et la Révolution, *Histoire de l'éducation*, 46 (1990), 53-109.

27 - Théodore Olivier, *Applications de la géométrie descriptive aux ombres, à la perspective, à la gnomonique et aux engrenages*, vol. 1 : *Texte*, vol. 2 : *Atlas* (Paris : Carilian-Goeury et Dalmont, 1847), 3.

En 1820, Barnabé Brisson publie la quatrième édition de la *Géométrie descriptive* de Monge. Celle-ci est augmentée d'une « Théorie des ombres et de la perspective²⁸ », tirée des leçons de Monge à l'École normale de l'an III. Le texte indique à nouveau clairement l'antériorité de la théorie sur les applications :

Après avoir exposé les principes généraux à l'aide desquels on résout les différentes questions qu'embrasse la Géométrie descriptive, il est convenable d'en faire connaître quelques *applications*. Nous nous proposons de nous occuper d'abord de la détermination des ombres dans les dessins, et ensuite de la perspective

Mais dans un cours spécialement consacrée à la Géométrie descriptive proprement dite, il est naturel de prendre pour premier *objet d'application* la Théorie des Ombres, qui doit être regardée comme le *complément* de cette science

On voit que ces recherches ne sont que de *simples applications* des méthodes de la Géométrie descriptive²⁹.

En mai 1807, Monge et Hachette exposent une théorie des ombres et de la perspective dans la *Correspondance sur l'École impériale polytechnique à l'usage des élèves de cette École*. On y retrouve le même rapport de subordination de l'étude des ombres aux méthodes de la Géométrie descriptive :

Chargés d'enseigner à l'École Polytechnique l'*application* de la géométrie descriptive à la détermination des ombres et de la perspective linéaire, nous avons cherché à simplifier la méthode générale pour les cas particuliers qui se présentent le plus ordinairement³⁰.

La *Géométrie descriptive* de 1799 ne contient pas les traités sur les ombres et la perspective, du fait que « les différentes mission qu'il [Monge] a reçues du gouvernement, celle qu'il remplit maintenant en Égypte, l'ont empêché de terminer ce travail³¹ ». L'étude des ombres apparaît toutefois dans les leçons données avant cette date.

28 - Gaspard Monge, *Géométrie descriptive*, 4^e éd., augmentée d'une Théorie des ombres et de la perspective, par M. Brisson (Paris : Courcier, 1820), 136-187.

29 - Monge, *op. cit.* in n. 28, 136, 142, mes italiques.

30 - Jean Nicolas Pierre Hachette, *Correspondance sur l'École impériale polytechnique, à l'usage des élèves de cette École : avril 1804 – mars 1808*, t. 1 (Paris : Bernard, 1808), 295, mes italiques.

31 - Monge, *op. cit.* in n. 2, avertissement.

Le Traité des ombres de Monge

Le 1 pluviôse an III (20 janvier 1795), Monge donne une leçon de Géométrie descriptive à l'École normale, dans laquelle il mentionne la construction des ombres. Celle-ci est une application de la Géométrie descriptive :

Parmi les différentes *applications* que l'on peut faire de la méthode des projections, il y en a deux qui sont remarquables, et par leur généralité, et par ce qu'elles ont d'ingénieux. Ce sont les constructions de la perspective, et la détermination rigoureuse des ombres dans les dessins. Ces deux parties peuvent être considérées comme le *complément* de l'art de décrire les objets ³².

Cette revue indique que la subordination du *Traité des ombres* à la Géométrie descriptive, et l'inversion temporelle qui en résulte, ont été voulues par Monge lui-même. Hachette, Brisson et Olivier n'ont fait que reproduire le choix de leur maître.

Les programmes d'enseignement permettent de suivre la maturation de cette idée (dans l'ordre chronologique). Avant l'an II de la République, rien ne laissait présager que le *Traité des ombres* puisse devenir un complément de la Géométrie descriptive.

En l'an II (21 ventôse; 11 mars 1794), le décret de la Convention sur les matières qui doivent être enseignées à l'École polytechnique place le cours de Géométrie descriptive en première année. Le premier semestre est consacré à l'acquisition des méthodes générales (2 mois), suivies de leur application à la coupe des pierres (2 mois) et au trait de charpenterie (2 mois). Le second semestre est entièrement dédié aux applications : tracé des ombres (1 mois), perspective linéaire et aérienne (1 mois), lever des plans de bâtiments, cartes et nivellement (2 mois), dessin des machines (1 mois), dessin des machines de travaux publics (1 mois). Dans ce programme, l'étude des ombres est placée au début du deuxième semestre, au milieu de l'apprentissage de la Géométrie descriptive ³³.

Dans le cours de Monge à l'École normale (1 pluviôse-21 floréal an III; 20 janvier-10 mai 1795), le programme est sensiblement différent. Le cours de Géométrie descriptive occupe le second

32 - *Séances des Écoles normales, recueillies par des sténographes, et revues par les professeurs*, première partie, leçons, tome troisième (Paris : Reynier, s. d.), 61-106, cit. 62, 64-65, mes italiques.

33 - *Développemens*, op. cit. in n. 5, 7-9.

semestre et est réduit à douze séances. La Théorie des ombres et de la perspective est enseignée durant les séances 10 à 12 (1, 11 et 21 floréal an III; 20 avril, 30 avril et 10 mai 1795), ces sujets venant clore l'enseignement de cette science³⁴.

Il résulte de cette comparaison que le rapport de subordination du *Traité des ombres* à la Géométrie descriptive a été établi entre l'an I et l'an III de la République. En l'an I (1793), les ombres précèdent la Géométrie descriptive; en l'an II (1794), elles constituent la première application de la Géométrie descriptive; en l'an III (1795), les ombres sont devenues la dernière application de la Géométrie descriptive.

On peut évidemment s'interroger sur les raisons qui ont poussé Monge à subordonner ainsi la théorie des ombres à la Géométrie descriptive, et à inverser la chronologie. Une première raison pourrait être la structuration croissante du cours de Géométrie descriptive. Peu à peu, le cours prend corps et offre un ensemble de méthodes générales qui peuvent être utilisées dans un grand nombre de situations.

Mais il existe une raison plus fondamentale, du fait que la même idée d'application règle les rapports entre l'École polytechnique et les écoles d'application. Par décret de la Convention du 23 fructidor an I (9 septembre 1793), toutes les écoles militaires sont supprimées. La Commission des travaux publics, constituée à l'initiative du Comité de salut public, présente l'organisation de la future École centrale des travaux publics, inspirée des idées de Monge. L'École est établie par les lois du 21 ventôse an II et 7 vendémiaire an III (11 mars et 28 septembre 1794). Après avoir accueilli une première promotion, l'École est renommée École polytechnique le 15 fructidor an III (1^{er} septembre 1795). Elle se donne pour mission de préparer les élèves aux écoles d'application qui seront détaillées dans le *Décret concernant les écoles*

34 - Les dates des séances de l'an III sont rappelées par Joël Sakarovitch, Gaspard Monge, *Géométrie descriptive*, first edition (1795), in I. Grattan-Guinness (dir.), *Landmark writings in Western mathematics : 1640-1940* (Amsterdam : Elsevier, 2005), 225-241, 229.

des services publics du 30 vendémiaire an IV³⁵ (22 octobre 1795). C'est dans ce décret que figure la première mention des « écoles d'application » que les élèves doivent intégrer au sortir de l'École polytechnique³⁶ (II, art. 9). On y compte huit Écoles d'artillerie (titre III), l'École des ingénieurs militaires (titre IV), l'École des ponts et chaussées (titre V), l'École des mines (titre VI), l'École des géographes (titre VII), l'École des ingénieurs de vaisseaux (titre VIII), les Écoles de navigation (titre IX) et les Écoles de marine (titre X).

Même si des références à l'application apparaissent déjà dans les *Développemens* de l'an II, et dans l'*Organisation de l'École centrale des travaux publics* de l'an III³⁷, c'est dans le décret de l'an IV qu'on trouve la meilleure explication du sens que Monge et les Révolutionnaires donnaient au mot application. Il est dit que les élèves pourront « *appliquer* leurs connoissances, aux arts, à la construction des ouvrages, et aux manœuvres de guerre » (III, art. 3). On leur proposera des travaux qui « seront l'*application* des connaissances théoriques, que les élèves auront prises à l'école polytechnique » (IV, art. 6). Ils feront « l'*application* des principes de physique et de mathématiques à l'art de projeter et construire les ouvrages relatifs aux routes, aux canaux et aux ports maritimes, et aux édifices qui en dépendent » (V, art. 5). L'examen d'entrée à l'École des géographes « aura en général pour objet les mathématiques pures et *appliquées*³⁸ » (VII, art. 3).

35 - *Décret du 30 vendémiaire, concernant les écoles des services publics* (Paris : Imprimerie nationale, an IV = 1795), 4-14 ; Voir aussi Théodore Le Puillon de Boblay, *Esquisse historique sur les Écoles d'artillerie, pour servir à l'histoire de l'École d'application de l'artillerie et du génie* (Metz : Rousseau-Pallez, 1858), 105-106 ; Janis Langins, Sur la première organisation de l'École polytechnique : Texte de l'arrêté du 6 frimaire an III, *Revue d'histoire des sciences*, 33 (1980), 289-313.

36 - *Décret du 30 vendémiaire*, op. cit. in n. 35, 6.

37 - « La stéréotomie donnera les règles générales et les méthodes de la géométrie descriptive. Elle en fera successivement l'*application* : à la coupe des pierres, à la charpenterie, aux ombres des corps, à la perspective linéaire et aérienne... *Application* de l'analyse à la mécanique des solides et des fluides... *Application* de l'analyse au calcul de l'effet des machines... », *Organisation de l'École centrale des travaux publics, du 6 Frimaire, an 3 de la République* (Paris : Imprimerie du Comité de salut public, an III = 1794), 3-4, 8 ; Langins, op. cit. in n. 35, 306-308.

38 - *Décret du 30 vendémiaire*, op. cit. in n. 35, 4-14, mes italiques. On trouve ici une première occurrence de l'expression « mathématiques pures et appliquées », que diffuseront ensuite les *Annales de mathématiques pures et appliquées* fondées en 1810 par Joseph-Diez Gergonne, puis le *Journal de mathématiques pures et appliquées* publié par Liouville à partir de 1836.

Tous ces passages attestent de la primauté de la théorie sur la pratique, et de l'idée que tous les problèmes concrets peuvent être résolus par application des connaissances théoriques. Or, l'étude de quelques domaines précis de la technologie montre que celle-ci n'est pas la simple application de la science. Le rapport d'application auquel on réduit souvent les échanges entre science et technologie est loin d'être mécanique et constant. On trouve des cas de connaissances réfutées a posteriori, des connaissances incertaines, des connaissances sans application, des techniques qui ne dérivent pas de connaissances scientifiques, des pratiques prétextes d'exercices théoriques, des applications qui modifient la théorie, des délais d'application motivés par la difficulté à trouver une utilité, ou par la croyance infondée dans l'inutilité des connaissances, des applications réputées utiles qui s'avèrent nocives, des connaissances dont l'utilité est limitée à servir d'autres sciences³⁹. Il y a donc une composante idéologique dans le choix de Monge réduire ce spectre de situations à l'application pure et simple. Ce choix façonne non seulement le plan d'organisation des grandes écoles, mais aussi l'inversion temporelle dont témoigne l'asservissement progressif du *Traité des ombres* à la Géométrie descriptive. Ce traité, écrit en 1766, n'a pas été écrit pour devenir l'appendice d'une science qui n'était pas née.

Le rapport d'application imaginé par Monge et ses élèves efface l'autonomie doctrinale du *Traité des ombres* vis-à-vis de la Géométrie descriptive. Le rétablissement de cette autonomie permet de suspecter que les versions imprimées au XIX^e siècle ont pu être remaniées pour être placées dans le sillage de la science nouvelle, au risque de corrompre le texte et de fausser les intentions initiales de Monge.

L'historien qui s'intéresse à l'état naissant d'une science a tout avantage à remplacer une réécriture tardive par le texte original. C'est le but de cette édition : rétablir les idées de Monge sur les ombres et les méthodes descriptives en 1766, avant le triomphe de la Géométrie descriptive.

Cette édition critique du *Traité des ombres*, établie à partir des

39 - Dominique Raynaud, *Qu'est-ce que la technologie? Suivi de Post-scriptum sur la technoscience* (Paris : Éditions matériologiques, 2016), 57-73.

Le Traité des ombres de Monge

copies faites par les élèves de l'École royale du génie de Mézières, se donne pour objectif de :

- documenter l'évolution de la Géométrie descriptive en restituant ses formulations exactes de 1766 : le *Traité des ombres* s'insère chronologiquement entre le *Traité des ombres dans le dessin géométral* de Chastillon de 1764⁴⁰ et les versions du *Traité des ombres* éditées par les élèves de Monge au XIX^e siècle.
- mettre en relief la dépendance du *Traité des ombres* aux connaissances que Monge, alors âgé de vingt ans, avait de la géométrie, de la perspective et de l'optique.

Manuscrits

Ms. P

Palaiseau, Bibliothèque centrale de l'École polytechnique, centre de ressources historiques, Archives, IX GM 16.1.4.

Titre : *Petit traité des ombres à l'usage de l'école du génie*

1766

Notes prises par un élève (anonyme) de Monge à l'école de Mézières. Sur la couverture une première main a écrit : « A L'usage des Ecoles du genie ». Une deuxième : « Monge... Sans scavoir... Pour mieux... » Une autre : « Traité des petites ombres », *corr.* « des ombres ».

Numéro d'inventaire 186504.

Ms. P₂

Palaiseau, Bibliothèque centrale de l'École polytechnique, centre de ressources historiques, Archives, IX GM 16.1.2.

Titre : *Ombres, Planche 1^{ère}*

⁴⁰ - Ce traité sans nom est attribué à Nicolas de Chastillon (1699-1765). C'était la base de l'enseignement des ingénieurs avant l'arrivée de Monge à Mézières. Sur les rapports entre Chastillon et Monge, voir Belhoste, *op. cit.* in n. 21, 103-135.

sans date

Planche isolée dessinée par Marchal⁴¹, élève de Monge à l'École royale du génie de Mézières.

Numéro d'inventaire 186502. Les planches PP₂ présentent de nombreuses similitudes, sont de même facture et datent probablement de la même année.

Ms. V

Vincennes, Service historique de l'Armée de Terre, Archives du Génie, Sciences mathématiques et physiques, topographie et géodésie, 1 VR 177, selon le classement de 2004; jadis art. 21 Objets d'art, section 13, Sciences mathématiques et physiques, topographie et géodésie, § 2, carton 1⁴².

Titre : *Théorie des ombres*

1768

Notes prises par Joseph-Gabriel Monnier (1745-1818), élève de Monge à l'École royale du génie de Mézières.

La copie, incomplète, s'arrête à : « L'opération répétée pour tant d'autres points qu'on voudra achevera de déterminer l'ombre du cylindre » (ligne 305).

Colophon : « Copié à Mézières par Monnier en 1768. À Genève an 8 [1799-1800], signé Haxo. Pour copie conforme au manuscrit communiqué par M. le lieutenant général baron Haxo. Le lieutenant-colonel du Génie, directeur du Dépôt général des Fortifications ». François Nicolas Benoît Haxo (1774-1838), lieutenant de l'École d'artillerie et du génie, enseignait à l'École polytechnique en 1795-1796.

41 - Je n'ai pas retrouvé trace de cet élève-ingénieur. Parmi les Marchal, nom assez répandu dans les Vosges, aucun ne semble avoir servi comme ingénieur. Beaucoup ont embrassé la carrière militaire, tels l'officier de cavalerie J. Marchal, le colonel Nicolas Marchal ou le capitaine adjudant-major Marchal, qui reçoivent des distinctions en 1814. Le personnage le plus connu est Louis René Marchal de Sainscy (1746-1807), receveur général des domaines et bois de Metz, mais il n'est pas établi qu'il ait étudié à Mézières.

42 - Nicole Salat, Emmanuel Pénicaud, *Le Dépôt des fortifications et ses archives, 1660-1940 : archives du génie : répertoire numérique détaillé de la sous-série 1V du Service historique de la défense* (Vincennes : Archives du Génie, 2011), 42.

Le Traité des ombres de Monge

Ms. M

Metz, École d'application de l'artillerie et du génie, carton 1, cote 1.

Titre : *Des ombres*

1783

Notes prises par un élève anonyme de Monge à l'École royale du génie de Mézières. Les notes, aujourd'hui perdues, ont été intégrées par Théodore Olivier à ses *Applications de la géométrie descriptive*⁴³.

Remarques sur les manuscrits

Le collationnement des copies manuscrites du *Traité des ombres* confirment que les éditions de Brisson en 1820 et d'Olivier en 1847 diffèrent du texte de Monge, en même temps que les copies diffèrent entre elles, ce qui justifie d'en donner l'édition critique.

Le collationnement des quatre copies conduit au diagnostic suivant. (1) L'état le plus ancien du texte (1766) est représenté par P et P₂ qui présentent l'un et l'autre, à la fig. 1, l'axe réduit SQ PP₂ vs l'axe prolongé SQV VM. (2) La copie V (1768) est postérieure et amputée de la dernière partie : le texte s'arrête à « L'opération répétée pour tant d'autres points qu'on voudra achevera de déterminer l'ombre du cylindre » (ligne 305). (3) Le texte M édité par Olivier est vraisemblablement un remaniement du manuscrit perdu M*, dont on sait seulement qu'il ne présentait pas d'omissions par rapport à P.

Le *Traité des ombres* est connu uniquement par les notes de cours prises par les élèves de l'école du génie de Mézières. On ne connaît pas de manuscrit autographe de Monge qui permettrait de mesurer l'écart entre son propre texte et la rédaction de ses élèves. On ne peut donc juger que des remaniements intervenus sur les manuscrits PP₂VM. Les copies PP₂V, rédigées entre 1766 et 1768, ne montrent pas de différences significatives. Le témoin M présente des changements plus importants, qui touchent à

43 - Olivier, *op. cit.* in n. 27, 26-35.

la fois au texte et au lettrage des figures. Le texte introduit des précisions géométriques (un globe opaque est dit « sphérique », ligne 64 ; une droite est qualifiée d'« axe », ligne 82 ; un plan est qualifié de « vertical », ligne 166). Le texte est parfois modifié, par exemple lorsque le copiste introduit des références à la littérature extérieure (« car il est démontré en physique que la lumière suit cette loi », ligne 49). Le manuscrit M, aujourd'hui perdu, n'a survécu qu'à travers l'édition de Théodore Olivier. On ne sait donc pas à qui attribuer ses leçons : est-ce Monge, l'élève sténographe, Olivier, qui ont introduit ces changements ?

Les figures 1 à 9 nous informent également des rapports qu'entretiennent les manuscrits PP₂VM. La comparaison des figures montre tout d'abord qu'aucun modèle coté n'a circulé dans la salle de dessin de Mézières : les formes et les dimensions des volumes représentés varient d'un manuscrit à l'autre.

Dans l'édition d'Olivier, tirée du manuscrit M, toutes les figures sont dessinées au trait, sauf la fig. 4 dont l'ombre et la pénombre sont rendues, assez maladroitement, par des hachures uniformes. Ce sont les figures M qui témoignent de la plus grande variation de forme et de dimensions par rapport aux manuscrits PP₂V.

Dans V, seules les fig. 6 et 8 ont été faites au lavis. Les fig. 2 et 4, où le lavis s'imposait pour rendre l'ombre et la pénombre, sont dessinées au trait.

Les figures des manuscrits PP₂ sont réalisées au lavis, avec une maîtrise à peu près comparable, en tout cas bien supérieure à celle de V. Comme P₂ ne comporte que les fig. 1 à 5, le meilleur témoin, à la fois complet et d'excellente facture graphique, est le manuscrit P de 1766, dont les figures sont reproduites dans cette édition. Le détail particulier des figures sera décrit dans le cours du texte.

Tenant compte des observations précédentes, l'édition critique a été réalisée à partir du meilleur témoin P (voir fig. 10 p. 235), en introduisant les corrections et clarifications suggérées par VM.

J'ai conservé l'orthographe de 1766. On écrivait alors : aurait] auroit, était] étoit, fixerait] fixeroit, trouvait] trouvoit, soient] soyent, etc., et de même : connue] connuë, reçue] reçuë, etc. Les

accents ont été gardés : lumière] lumière, parallèle] parallèle, problème] problème, etc., ainsi que toute graphie fautive utilisée avec régularité, par exemple : abaisser] abbaïsser, arête] arrête, cylindre] cilindre, horizontal] horisontal, polygone] poligone, etc. Ces particularismes ne gênent pas la lecture sauf s'ils sont une source d'ambiguïté. J'ai donc distingué ou (conjonction) et où (adverbe), a (verbe) et à (préposition), confondus par le copiste.

Tabl. 1
Sigla

<i>add. addidit</i>	<i>om. omissit</i>	<i>transp. transposuit</i>
<i>ante ante</i>	<i>post post</i>	? <i>lectio incerta</i>
<i>corr. correxit</i>	<i>rep. repetivit</i>	! <i>sic</i>
<i>del. delevit</i>	<i>scr. scripsit</i>	[] <i>addendum</i>
<i>marg. in margine</i>	<i>suprascr. suprascript</i>] [<i>omittendum</i>

Édition critique

[P 1][M 26][V 1] Des ombres

On sait que tous les points d'un objet lumineux doivent être regardés chacun comme le centre d'une sphère immense composée d'un nombre infini de rayons qui s'écartent du centre avec une vitesse qui échappe à nos sens : que, dans un milieu homogène et uniformément dense, ces rayons se propagent toujours en lignes droites, de manière qu'un rayon de lumière émané d'un point quelconque, ne peut arriver à un autre point déterminé, tant qu'il se trouve un obstacle sur la [M 27] droite menée par ces deux points.

Fig. 1^e Par conséquent lorsqu'un corps Q, impénétrable à la lumière, se trouve dans un milieu éclairé par un point lumineux S,

1 Des ombres] *add. suprascr.* à L'usage de l'Ecole du Genie P Théorie des ombres V Traité des ombres dans le dessin géométral M 3 chacun VM] chacuns P 4 d'un nombre infini PV] d'une infinité M 5 *post* que PM] *add.* étant V 7 en lignes droites P] en ligne droite VM 7 émané PM] venant V 8 déterminé PM] *om.* V 11 impénétrable VM] imperméable! P 12 point lumineux PM] corps lumineux V

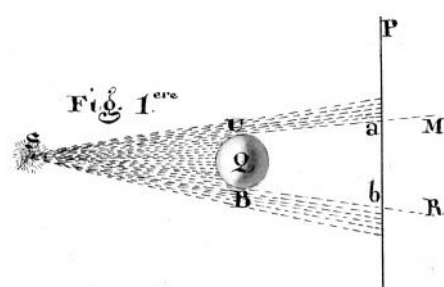


Figure 1

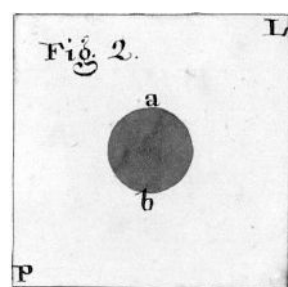


Figure 2

il doit interrompre la route des rayons de lumière, soit en les interceptant, soit en les réfléchissant, et par là priver totalement de lumière l'espace UMBR placé de l'autre côté de ce corps par rapport au point S, et terminé par les prolongements des tangentes SUM et SBR. C'est cette portion infinie de l'espace absolu, qu'un corps opaque prive de lumière par son interposition dans un milieu éclairé, que l'on nomme ombre de ce corps. 15

Si l'on place au delà du corps par rapport au point S, un plan PL de manière qu'il se présente en face vers le point lumineux, ses parties Pa, bL seront éclairées comme elles le seroient si le corps Q étoit aneanti, mais la partie ba absolument privée de lumière sera parfaitement obscure, et le passage de cette obscurité à la clarté des parties voisines éclairées se fera subitement, et sans nuances. Par exemple si le corps Q est une sphère, et que le plan PL soit placé [V 2] perpendiculairement à une droite menée du point S par le centre Q, l'espace ab sera circulaire, comme on le voit Fig. 2, et toutes les parties seront également [P 2] obscures. C'est cet espace que l'on appelle *projection de l'ombre*, et que le vulgaire confond communément avec l'ombre proprement dite. 20 25 30

La projection de l'ombre d'un corps sur une surface quelconque est donc la figure que déterminent sur cette surface les prolongements des rayons de lumière tangents à la surface du corps.

Quelque autre part qu'on eut placé le plan PL, cependant toujours au delà du corps Q, par rapport au point S, l'espace obscur ab eut été plus ou moins grand, mais son obscurité absolue eut toujours été la même puisqu'elle eut toujours été une privation totale de lumière : l'intensité réelle de l'ombre est donc une quantité constante qui peut être prise pour terme de comparaison. Il n'en est pas de même de sa quantité relative, ou de son intensité apparente, car elle n'est que le contraste qu'elle fait avec les 35 40

15 UMBR PV] OMBR M. 16 prolongements des PM] om. V 17 SUM PV] SOM M 17 portion PV] partie M 22 bL PM] BL V 25-26 sans nuances PV] sans ménagement! M 26 si le corps Q est une sphère, et PV] Q est une sphère, et supposons M 29 Fig. 2 PM] Fig. 3 V 29 également PV] repet. del. M 30 cet PM] cette V 31 communément PM] om. V 33 déterminent] terminent PM] termine! V 36 obscur PM] om. V 38 eût toujours été PM] transp. V 41 ou PM] et V

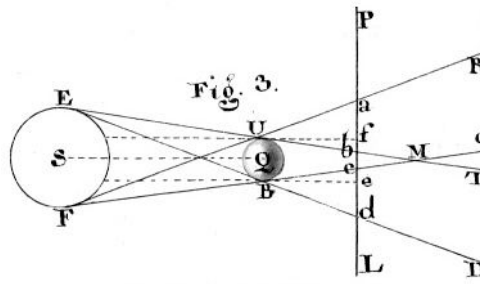


Figure 3

parties éclairées qui l'avoisinent, or ce contraste étant d'autant plus sensible et plus frappant que la lumière l'est davantage, doit
 45 varier comme elle, c'est à dire augmenter et s'affaiblir en même raison. Donc toutes choses d'ailleurs égales, *l'intensité apparente de l'ombre d'un corps reçue sur une surface quelconque doit croître ou décroître en raison inverse du quarré de la distance de cette surface au point lumineux.*

50 Mais comme dans la nature, nous ne voyons les objets qu'à travers un milieu, dont la densité s'oppose en partie au passage de la lumière, et diminuë par conséquent son intensité, *cette ombre doit [V 3] encore nous paroître d'autant plus forte, qu'elle est moins éloignée de notre oeil, c'est à dire que nous sommes plus proches*
 55 *de la surface qui la reçoit.*

On doit avoir égard à ces deux [M 28] principes lorsque l'on peint des objets [P 3] éclairés par un flambeau peu éloigné du champ du tableau. Mais lorsque l'on suppose que la lumière vient du soleil, comme la distance de cet astre est sensiblement la même
 60 pour toute la surface de la terre, la première considération n'a pas lieu.

43 étant PM] est V 44 davantage, PM] add. et V 45 augmenter et s'affaiblir PM] s'augmenter et s'affaiblir V 46 d'ailleurs égales PV] égales d'ailleurs M 47 d'un corps reçue] d'un objet vu V reçu M 48 ou PV] et M 49 lumineux PV] add. car il est démontré en physique que la lumière suit cette loi M 52 cette] cet! P 53 encore PM] par conséquent V

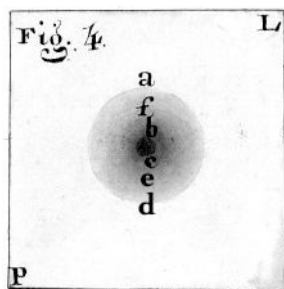


Figure 4

Tout ce que nous venons de dire ne suppose aucune dimension au corps lumineux, mais soit Q (Fig. 3) un globe opaque, éclairé par un autre globe S dont le diamètre ait un rapport sensiblement fini avec la distance des deux centres : soient menées les quatre lignes Ed, Eb, Fa, Fc tangentes aux surfaces des deux globes, et concevons que le système de ces quatre droites fasse une demi-révolution autour de SQ comme axe, il engendrera quatre surfaces coniques, opposées deux à deux par le sommet et qui seront précisément les mêmes que celles qu'on auroit eues en menant ces quatre tangentes dans tous les sens possibles. Cela posé, il est clair : 1° que l'espace UMB (fini si $S > Q$ et infini si $Q = S$) doit être absolument obscur, puisqu'il ne reçoit aucun rayon de lumière, 2° que l'obscurité des espaces RUM et MBD doit diminuer en s'éloignant de l'axe SQ. Les points c et b sont en effet très obscurs, puisqu'ils ne sont découverts chacun que par un seul point E ou F de la surface lumineuse : les points e f le sont moins, puisqu'ils découvrent chacun une grande partie du globe S. Enfin les points a et d sont très éclairés et autant qu'ils le peuvent être puisqu'ils reçoivent des rayons de toute la surface du corps lumineux. Donc [V 4] si on présente en PL un plan perpendiculaire à SQ, la projection de l'ombre sur ce plan sera composée de

63 mais PV] *om.* M 63 globe opaque PV] *add.* et sphérique M 64 globe PV] *add.* sphérique M 64 sensiblement PM] sensible V 65 centres VM] autres! P 66 Ed, Eb, Fa, Fc] *del.* ED ET FR FO *marg.* Ee, Eb, Fa, Fc P | ED ET FR FO V | ER, EM, FM et FD M 67 système PM] système V 69 seront PM] sont V 70 auroit PM] avoit V 72 UMB PV] OMB M 72 fini si $S > Q$ et infini si $Q = S$ P] fini si S est plus grand que Q, infini s'il est plus petit M | *om.* V 73 obscur PM] obscure V 74 RUM] *del.* Y P | RUMV VM 74 MBD PV] *del.* X P | VMBD VM 75 SQ P] SV VM 77 e f VM] d f P 78 puisqu'ils PV] parce qu'ils M 78 découvrent VM] découpent? *corr. suprascr.* -vrent P 79 a et d VM] a et e P 81 présente PM] porte V 82 à PV] *add.* l'axe M

deux parties : (Fig. 4) 1° d'un noyau circulaire de meme obscurité
 que l'ombre de la figure 2, 2° d'une couronne d'ombre *ab, cd* dont
 85 l'intensité diminuë en s'éloignant du centre, jusqu'à devenir zero
 aux points *a* et *d*.

Les dimensions, ou la grandeur de cette ombre imparfaite, qu'on
 [P 4] nomme pénombre, (du latin *penè umbra*), doit varier sui-
 vant que les dimensions des corps S et Q, leur distance et celle du
 90 plan PL deviennent plus ou moins grandes. L'angle *cBd* (Fig. 3),
 par exemple, restant le même, la droite *cd* sera d'autant plus
 grande que la distance *Be* du point B au plan PL sera plus consi-
 dérable : 2° cette distance restant la même, la droite *cd* pourra
 être considérée comme composée des deux parties *ce* et *ed*, dont
 95 la première sera proportionnelle à la tangente de l'angle *cBe*, la 2°
 à la tangente de l'angle *eBd* ; donc quels que soient l'angle B et la
 distance *Be*, la grandeur *cd* de la pénombre sera proportionnelle
 à *Be* ($\tan cBe + \tan eBd$). Mais si le diamètre du corps lumineux est
 considérablement plus grand que celui du corps opaque, l'angle
 100 en B est égal à l'angle sous lequel le diamètre du corps S est vu
 d'un point quelconque du corps Q, et les segments *ce* et *ed* sont
 sensiblement égaux, d'où il suit que l'angle *cBe* égale sensible-
 ment *eBd* = $\frac{1}{2} cBd$ [M 29].

Soit donc *p* l'angle sous lequel est vû le diamètre du soleil, *q* la
 105 distance *Be* de l'objet qui porte ombre à la surface sur laquelle
 elle est reçue, la grandeur de la pénombre sera $2q \tan(\frac{1}{2} p)$.

[V 5] Il suit de là sans entrer dans une si grande précision, que les
 ombres portées sur la surface de notre globe, par des corps éclair-
 rés par le soleil ne doivent pas être terminées vivement, comme

83 circulaire VM] *del. ae?* P 84 de la figure 2 PM] (fig. 2) V 84 *ab, cd* VM] *del.*
ab, cb suprascr. ab, ce P 86 *a et d* VM] *a et e* P 88 (du latin *penè umbra*) PM] *om.* V
 92 *Be* PM] BC V 93 la droite *cd* VM] *cd* P 95 *cBe*] CBc V 96 à la tangente V]
 à celle PM 96 *eBd* PM] *ebd* V 96 quels que soient M] quelque soient P | quelques
 soient V 98 ($\tan cBe + \tan eBd$)] (*tang. cBe, tangent. eBd*) PV | ($\tan cBe + \tan eBd$)
 M 100 en PM] *om.* V 101 *ce et ed* M] *ced* P 103 $eBd = \frac{1}{2} cBd$] $ebd = \frac{1}{2} cbd$
 V | l'angle *eBd* et qu'il peut, dès lors, être comme égal à ($\frac{1}{2} cBd$) M 104 *p* PM]
 P V 104 diamètre du PM] *om.* V 106 $2q \tan(\frac{1}{2} p)$]]tangente[$2q \tan^{te1/2} p$.
 PV *add. marg.* Pour que la formule ait lieu] aille V, il faut que cette surface soit un
 plan perpendiculaire aux rayons de lumière qui pour lors sont] seront V sensiblement
 parallèles. 107 de là PM] *om.* V

dans la figure 2^e, mais qu'elles doivent se mêler par nuances 110
insensibles avec la clarté qui les avoisine. Ajoutez à cela que
les rayons de lumière, lorsqu'ils rasant quelque corps dans leur
route, se plient en s'approchant [P 5] de l'axe, et diminuent par là
la grandeur de l'ombre pure. Par conséquent dans les dessins, les
teintes des ombres ne doivent pas être uniformes, mais s'adoucir 115
insensiblement, à moins qu'elles ne soient très proches de l'œil
qui les voit, et de l'objet qui les cause.

Dans les opérations suivantes nous ne déterminerons géométri-
quement que les projections des contours des ombres pures, ce
sont les seules qu'il soit nécessaire d'avoir exactement dans les 120
dessins : c'est l'affaire du lavis de dégrader les teintes, et de les
placer de manière à faire illusion. Nous allons d'abord suppo-
ser les rayons du soleil parallèles, c'est à dire émanés d'un foyer
infiniment éloigné, ou qui relativement à nos sens puisse être
regardé comme tel, nous verrons ensuite quel changement on 125
apporteroit à nos méthodes si l'objet lumineux se trouvoit à une
distance sensiblement finie.

Probleme

La direction des rayons parallèles de lumière étant donnée, trou-
ver l'ombre d'un corps quelconque sur une surface quelconque, 130
le corps et la surface étant donnés de dimensions et [V 6] de
positions.

Fig. 5 On construira les projections du corps opaque qui doit
porter l'ombre et de la surface qui doit la recevoir sur deux plans
quelconques, qu'il est cependant plus commode de supposer 135

110 par nuances PV] par masses! M 113 en s'approchant PV] et se rapprochent
M 114 dessins VM] desseins P 115 pas PM] point V 116 très PM] bien V 117
qui les voit V] qui doit les voir PM 121 dessins VM] desseins P 125 regardé]
regardés M 125 ensuite PM] dans la suite V 125 quel changement VM] quels
changements P 128 Probleme P] Problème V | Problème général M 129 direction]
division *del. suprascr.* direction P 129 parallèles VM] (parallèles) P 130 d'un rayon
PM] d'une surface V 130 sur une surface quelconque PV] *om.* M 131-132 le corps
et la surface étant donnés de dimensions et de positions PM] les corps étant donnés
de dimension et de position V 134 porter V] causer PM

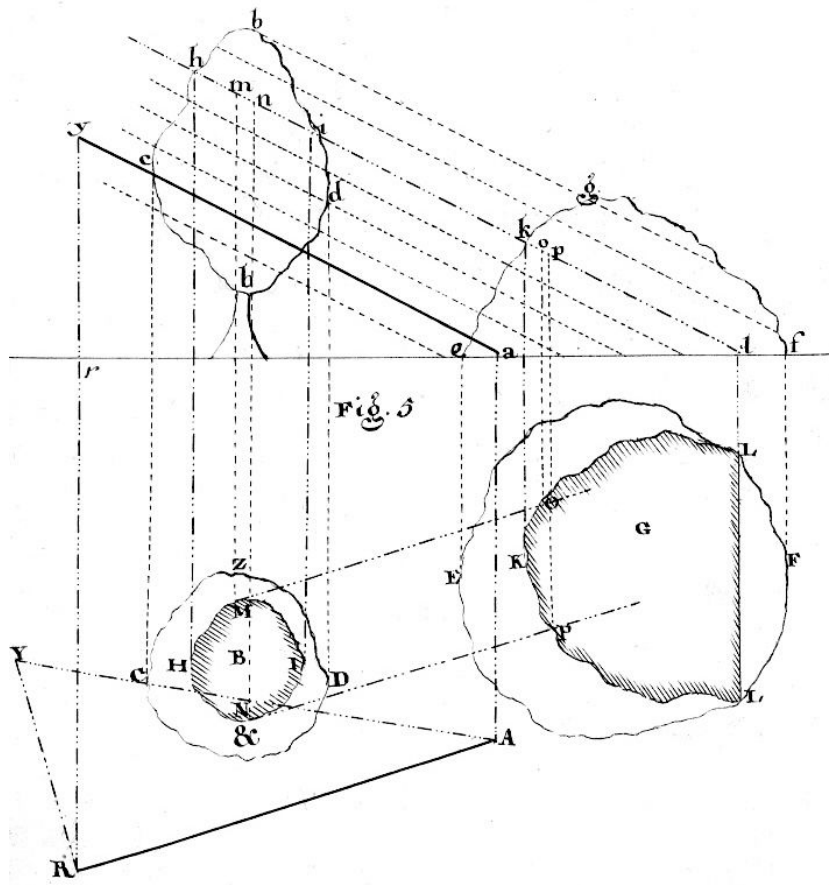


Figure 5

perpendiculaires l'un à l'autre, et tel que l'un soit horizontal et l'autre vertical. Quelquefois ces projections sont déjà construites, et c'est sur elles qu'on se propose [P 6] de déterminer les ombres : ainsi soit CZD la projection horizontale et *cdbb* l'élévation du corps qui porte ombre, ELFL et *egf*, les projections horizontale et verticale de la surface qui doit la recevoir : enfin RA et *ya*, celles d'un rayon de lumière quelconque. Il n'est pas possible de donner une méthode générale pour la construction de ces projections, et on s'en assurera facilement en observant qu'un même corps se projete différemment suivant les différentes manières dont sa nature nous est connue. Par exemple, les projections du rayon de lumière ne peuvent se faire que conséquemment à la manière dont nous supposons que les dessins seront éclairés. Ainsi, si, comme on fait ordinairement, nous nous donnons sa direction RA, ou sa projection horizontale, [M 30] et l'angle RAY qu'il forme avec elle, on menera RY perpendiculaire à RA et l'on imaginera le triangle YRA relevé verticalement sur RA, on projettera les points A et R en *a* et *r*, et on fera la verticale *ry* égale à RY. Il est clair pour lors que *ya* sera la projection verticale du rayon dont AR est la projection horizontale, toute autre manière dont on fixeroit la position du rayon de lumière exigeroit peut-être une autre méthode pour en faire les projections. Il est d'usage de nommer RA la direction du rayon de lumière, et *ya* son incidence. C'est ce que les astronomes appellent [V 7] l'azimuth et l'almicantarath.

Cela posé dans l'une des projections, dans l'élévation, par exemple, et par tous les points de l'objet qui doivent spécialement porter ombre, on menera des droites *hl* parallèles aux rayons du soleil, et on considérera chacune d'elles comme la projection d'un plan parallèle aux rayons de lumière et perpen-

137 et PM] *add.* par conséquent V 137 quelquefois VM] quelques fois P 139 CZD P] CDZ V | GZD M 140 ELFL P] ELEL V | EFL M 142 RA PV] YA M 147 du rayon M] de rayons PV 147 peuvent VM] peut! P 149 dessins VM] desseins P 149 comme on fait ordinairement V] comme c'est l'ordinaire PM 150 nous PM] *om.* V 150 RA] YA M 151 qu'il forme PM] qu'ils forment V 152 RA] YA M 152 imaginera PM] ymaginera V 152 relevé PV] élevé M 153 RA PV] YA M 153 projettera PM] projetera V 153 A et R en *a* et *r* PV] A et Y en *a* et *y* M 154 pour lors que V] *transp.* PM 155 AR PM] RA V 156 manière PM] mais une autre! V 157 exigeroit PM] exige V 158 RA P] la ligne RA V | YA M 160 appellent PM] nomment V 160 almicantarath PM] almyncantarath V 162 et PM] *om.* V 163 droites PM] *om.* V 164 du soleil PM] de lumière V 164 on considérera PM] considérant V 164 d'elles PM] d'elle V

diculaire au plan de projection. Chacun de ces plans contient une infinité de rayons [P 7] dont une partie est interceptée par l'objet qui porte ombre, et dont deux, ou un plus grand nombre, après avoir rasé la surface du corps, déterminent par leurs prolongements deux ou plusieurs points du contour de l'ombre sur la surface qui doit la recevoir. Or ceux des rayons de lumière renfermés dans le plan *hl*, qui sont interrompus par le corps opaque, rencontrent tous sa surface dans la section *hi* faite par le plan *hl*, et ceux qui s'échappent en rasant la surface sont des tangentes à cette section. Donc, si par les règles de la stéréotomie on projette cette section en HMIN, et si on lui mène deux tangentes MO et NP parallèles à RA, elles seront les projections horizontales, mais indéfinies, des rayons rasans qui doivent par leurs prolongements donner des points du contour de l'ombre. Mais puisque ces rayons sont contenus dans le plan *hl*, ils ne peuvent rencontrer la surface ELFL que dans l'intersection de cette surface par le plan *hl* représentée dans l'élévation par *kl*. Par conséquent si l'on projette cette section en LOKPL, les rencontres O et P de cette ligne avec les droites MO et NP seront deux points du contour de l'ombre demandée. Les verticales élevées par les points O et P détermineront par leurs rencontres avec la droite *hl* les projections verticales [V 8] des deux mêmes points. En répétant l'opération par tant de plans *hl* qu'on voudra, on trouvera tous les points qui seront nécessaires à la construction de la ligne du contour de l'ombre dans les deux projections. C. Q. F. D.

Remarque. Les points M et N séparent la partie éclairée MHN de la section, de la partie obscure MIN. Par conséquent si on fait passer une ligne par tous les points trouvés de la même manière pour les autres sections, on aura la séparation [M 31] de la partie éclairée de la surface, de celle qui est dans l'ombre, ce qui est

166 plan PV] *add.* vertical M 166 ces V] ses PM 167 de PM] *add.* ces V 168 deux V] *add.* enfin PM 168 ou PV] et M 169 du PV] de ce M 171 sur VM] de P 172 de PM] *add.* la V 173 rencontrent tous sa surface PV] rencontrent toute sa surface M 173 *hi* PV] HL M 175 section PM] *add.* en HMN V 176 stéréotomie PM] stéréométrie! V 176 HMIN] HMLN M 177 RA PV] YA M 178 rasans PM] *om.* V 179 leurs prolongements PV] leur prolongement M 181 ELFL] ELEM V EFI M 182 représentée PV] représenté M 182 dans PM] à V 183 *kl* PV] *ki* M 184 LOKPL PV] QKL M 188 par tant V] pour tant PM 191 C. Q. F. D. PM] *om.* V 192 Remarque PM] Nota V 193 de la section PM] *om.* V

quelquefois très utile dans le lavis. Les verticales élevées par les points *M N* détermineront par leurs rencontres avec les lignes *hl* correspondantes [P 8] dans l'élévation, les points *m* et *n* par lesquels doit passer la projection verticale de cette séparation. 200

Corollaires

I L'ombre d'une droite verticale projetée sur un plan horizontal est toujours une ligne droite, ou plus généralement, la projection horizontale de l'ombre d'une verticale reçue sur quelque surface que ce soit est toujours une droite : car les rayons qu'interrompt la verticale composent un plan vertical qui par sa rencontre avec les surfaces voisines détermine l'ombre de la droite : et cette intersection ne peut être vue sur le plan horizontal que sous une droite, puisque tout le plan vertical qui la contient est lui-même projeté sous une droite. De plus cette droite doit être parallèle à la projection horizontale d'un rayon de lumière. [V 9] 205 210

II Par la même raison l'ombre d'une droite quelconque perpendiculaire au plan d'une projection quelconque est toujours une droite parallèle à la projection horizontale du rayon de lumière.

III L'ombre d'une ligne ou d'un polygone quelconque reçue sur un plan qui lui est parallèle est toujours une figure qui lui est égale et semblable. 215

La solution que nous venons de donner du problème général des ombres peut s'employer quelle que soit la figure du corps qui

197 quelquefois VM] quelques fois P 198 leurs rencontres PM] leur rencontre V 203 une ligne droite PV] une droite M 205 qu'interrompt P] qu'elle interrompt V] qui sont interrompus par M 206 la verticale PM] om. V 208 le PM] un V 208-211 sous une droite, puisque ... d'un rayon de lumière P] sous une droite. De plus cette droite doit être parallèle au rayon de lumière projeté horizontalement V] sous la forme d'une droite qui doit être parallèle à la projection horizontale d'un rayon de lumière M 212 Par PV] Pour M 212 l'ombre PV] la projection verticale de l'ombre M 212 quelconque PV] om. M 213 d'une projection quelconque PV] de projection verticale M 214 horizontale PV] verticale! M 215 l'ombre PV] la projection de l'ombre M 215 ligne PV] add. droite M 218-219 des ombres VM] om. P 219 quelle que soit M] quelque soit V] quelles soit! P

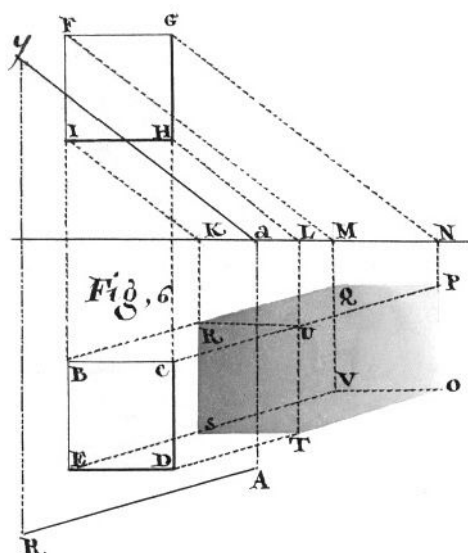


Figure 6

220 porte ombre, c'est à dire que la surface soit courbe ou composée
de parties planes ou courbes. Mais lorsque le corps n'est pas ter-
miné par une surface unique, et que cette surface est un système
de plans joints par des arrêtes rectilignes, on peut déterminer
bien plus aisément la figure de son ombre. [P 9]

225 Exemple 1^{er}

Déterminer l'ombre d'un cube donné de position sur un plan ho-
rizontal.

Fig. 6 Soient BCDE et IFGH les projections horizontale et verti-
cale du cube RA et ya celles du rayon de lumière et KN la base
de l'élévation. Cela posé, remarquons que nous aurons l'ombre
demandée si nous reconnaissons qu'elles sont les arrêtes du

222 unique PV] om. M 222 et VM] mais P 222 que cette surface est PV] par M
223 de plans joints PM] de surfaces jointes V 228 Soient PM] Soyent V 229 RA
PV] YA M 229 KN VM] RN corr. KN P 230 aurons PM] avons V

cube que rasent les rayons de lumière, et si nous déterminons les ombres que portent ces arrêtes. Or il est évident que l'arrête verticale représentée par le point B dans la projection horizontale et par IF à l'élévation, est rasée par les rayons de lumière, que de plus son ombre doit être indéfiniment sur une droite BQ parallèle à RA. Mais si par les points [V 10] F et I on mène des droites parallèles à ya , les points M et K où elles rencontreront l'horizontale KN seront [M 32] les projections verticales des ombres des points F et I. Donc en abaissant les verticales MQ et KR, leurs intersections avec BQ détermineront l'ombre de l'arrête verticale représentée par le point B. Donc RQ sera une portion du contour de l'ombre demandée. Cela fait, on observera que l'arrête horizontale exprimée par BC dans la projection horizontale, et par FG dans l'élévation, est aussi rasée par les rayons, qu'il en est de même pour l'arrête horizontale supérieure projetée en CD, pour la verticale qui passe par le point G, et pour les arrêtes horizontales inférieures représentées par DE EB, que par conséquent les ombres de toutes ces arrêtes achèveront le contour de l'ombre du cube. Mais nous avons déjà l'ombre d'une des extrémités de l'arrête horizontale BC, il suffit donc d'avoir celle de l'autre extrémité C. Or cette ombre doit se trouver sur la droite CP parallèle au rayon RA. De plus si par le point G on mène la droite GN parallèle au rayon ya , le point N [P 10] sera son élévation. Donc la verticale NP déterminera par sa rencontre avec CP l'ombre du point C, et par conséquent QP sera l'ombre de l'arrête horizontale supérieure représentée par BC.

On auroit pu trouver la droite QP en faisant un autre raisonnement, car l'ombre d'une horizontale reçue sur un plan horizontal est une droite qui lui est égale et parallèle. Donc en menant par le point Q une droite égale et parallèle à BC, on auroit eu l'ombre de cette arrête. En faisant un pareil raisonnement pour toutes les

237 RA PV] YA M 238 M et K PV] *om.* M 240 des ombres PM] de l'ombre V
241 leurs intersections PV] leur intersection M 241 détermineront V] terminera
PM 243 Cela fait PM] Cela posé V 244–249 on observera ... représentées par DE
EB PM] on observera que l'arrête horizontale supérieure projetée en CD, celle projetée
en BC, la verticale qui passe par le point D, et les arrêtes horizontales inférieures re-
présentées par DE et EB sont avec la verticale B les seules lignes rasées par les rayons
lumineux, et V 248 point G VM] point D P 252 donc V] *om.* PM 253 RA PV]
YA M 254 GN VM] CN P 257 horizontale PM] *om.* V 263 en faisant] *repet.*
del. P

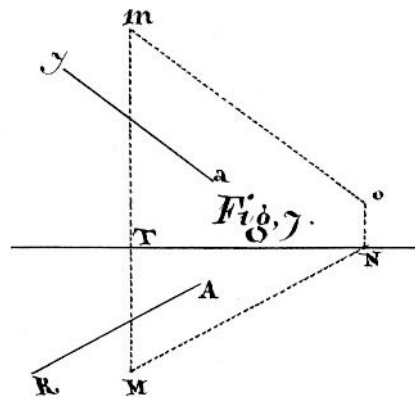


Figure 7

265 autres lignes que nous venons de citer, on parviendra à achever
le contour de l'ombre bien plus facilement qu'en employant la
méthode du problème. [V 11]

Exemple II

Déterminer l'ombre d'un point sur un plan vertical.

270 [Fig. 7] Soient M et *m* les projections horisontale et verticale de ce
point et TN la projection horisontale du plan vertical sur lequel
doit être portée l'ombre demandée. Soit menée la droite MN pa-
rallèle à RA et regardons cette droite comme la projection d'un
plan vertical qui doit contenir le rayon de lumière interrompu par
le point M. Cela posé le rayon interrompû ne peut par son pro-
longement rencontrer le plan vertical, et par conséquent déter-
miner l'ombre demandée, que dans l'intersection des deux plans
verticaux. Or cette intersection est indefiniment la verticale No,
de plus la droite *mo*, parallèle à *ya* doit encore contenir la pro-
jection verticale du même point d'ombre, donc son intersection
280 avec la verticale No déterminera le point *o* demandé. [P 11]

265 le contour de PM] *om*. V 268 Déterminer PM] *om*. V 269 de ce V] du
PM 271 menée la droite PV] *om*. M 272 RA PV] YA M 272 regardons VM]
regardant P 273 interrompu PM] intercepté V 279 donc PV] dont! M

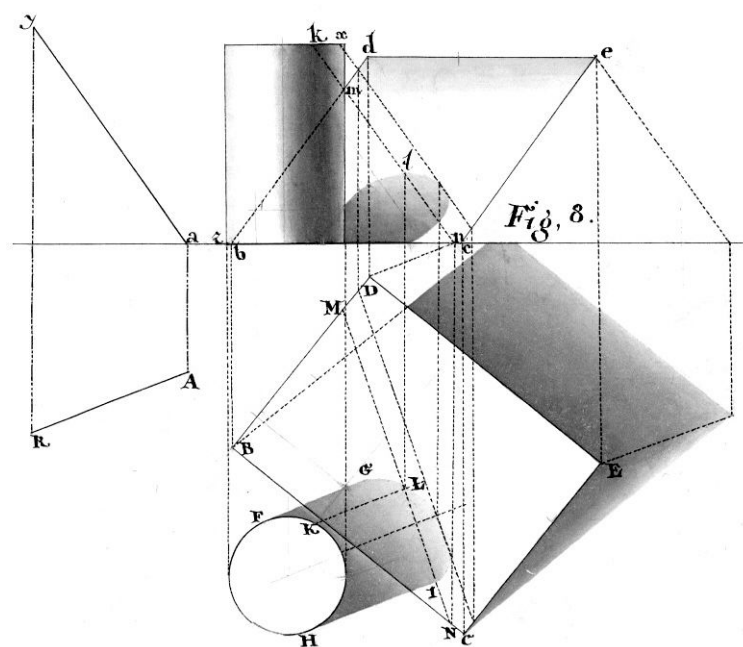


Figure 8

Exemple III

Trouver sur un plan incliné l'ombre d'un cylindre vertical terminé par deux bases horizontales.

Fig. 8 Soient FKH et zx les projections du cylindre, BCED et $bced$ celles du plan incliné, RA et ya celles du rayon de lumière. Soient 285 menées les tangentes FG et HI parallèles à la projection horizontale du rayon de lumière. Il est clair que ces deux droites seront les ombres des verticales représentées par les points F et H et termineront latéralement la projection [M 33] de l'ombre du cylindre. Il ne s'agit plus par conséquent que de trouver l'ombre du 290 contour de la base supérieure. Pour cela on fera par tant [V 12]

285 RA et ya celles du rayon de lumière V] om. PM 286 tangentes PM] droites V
286 FG et HI PV] fG et hI M 290 trouver VM] om. P

de points qu'on voudra l'opération que nous allons faire pour le point K, dont la projection verticale est le point *k*. Par le point *k* soit mené *kn* parallèle à l'incidence solaire, et soit regardée
295 cette ligne comme la projection verticale d'un plan parallèle au rayon de lumière, dont l'intersection avec le plan incliné *bced* doit contenir l'ombre du point K. Soit projetée cette intersection sur le plan horizontal, en abaissant par les points *m* et *n* des verticales qui par leurs rencontres avec les droites correspondantes
300 BD et BC détermineront deux de ses points M et N. La droite MN contiendra donc la projection de l'ombre du point K : mais la parallèle à RA menée par le point K doit encore la contenir : par conséquent leur point L d'intersection sera la projection de l'ombre du point K. L'opération répétée pour tant d'autres points
305 qu'on voudra achevera de déterminer l'ombre du cylindre.

Dans tout ce que nous venons de dire, nous avons [P 12] supposé que les rayons de lumière fussent émanés d'un point infiniment éloigné, voyons maintenant la manière de déterminer l'ombre d'un corps éclairé par un corps lumineux placé à une distance
310 sensiblement finie.

Lorsque le point lumineux ne sera pas infiniment éloigné de l'objet éclairé, les rayons de lumière qui en partiront ne seront pas parallèles : et les projections horizontale et verticale d'un de ces rayons ne suffiront pas pour déterminer la direction de tout
315 autre : il faudra alors projeter le point lumineux lui-même, imaginer par ce point tant de plans qu'on voudra perpendiculaires à un des plans de projection et qui feront dans l'objet éclairé et dans la surface qui doit recevoir l'ombre autant de sections qu'on projetera sur l'autre plan : mener par le point lumineux
320 toutes les tangentes possibles aux sections du premier corps, et les prolonger jusqu'à ce qu'elles rencontrent quelque part,

294 *kn* parallèle V] la parallèle *kn* PM 295–296 au rayon V] aux rayons PM 300 de ses P] de ces V | *om.* M 302 RA PV] YA M 302 la contenir VM] *repet. del.* P 303 la projection VM] l'opération! P 303–304 de l'ombre V] *om.* PM 304 du point VM] *repet. del.* P 304 d'autres PM] de V 305 cylindre PM] *add.* Fin V. Suit le colophon : « Copié à Mézières par Monnier en 1768. à Genève an 8 signé Haxo. Pour copie conforme au manuscrit communiqué par M. le lieutenant général baron Haxo. Le lieutenant-colonel du Génie, directeur du Dépôt général des Fortifications. » V 309 corps M] *suprascr.* P 314 ne suffiront pas P] ne suffisant pas! M 316 qu'on M] *repet. del.* P 317 à un des plans de projection M] à une de ces projections P

si cela est possible, les sections correspondantes faites dans le second corps.

Le procédé graphique ne diffère de celui du problème, qu'en ce que dans ce cas ci les tangentes aux sections sont menées par un point déterminé, au lieu qu'elles étoient parallèles entr'elles dans le premier cas. 325

La solution du problème des ombres que nous venons de donner étant de la plus grande généralité, il seroit inutile d'entrer dans quelque détail sur les particularités de certaines ombres, et de rapporter des méthodes abrégées plus ou moins élégantes qu'on peut employer en certains cas : l'usage et les occasions en fourniront assez pour peu qu'on y réfléchisse : cependant nous ne passerons pas sous silence une difficulté qui peut souvent se présenter, et qui a lieu [P 13] dans l'exemple suivant. 330 335

Exemple IV

Determiner sur la surface concave d'un puit fait en avant d'un retranchement [M 34] l'ombre portée sur son bord, en supposant qu'il soit éclairé par un point lumineux placé à une distance déterminée. 340

Fig. 9 On sait qu'un puit de retranchement est un cône tronqué renversé dont les bases parallèles sont horizontales : soient donc EDCL, FIGH et *ecgf* les projections horizontale et verticale du puit, A et *a* celles du point lumineux. Par le point A soient menées les projections AL de tant de plans verticaux qu'on voudra, et les projections verticales *pnqnk* des sections qu'ils forment dans la surface du cône (il est inutile de donner le détail de cette construction). Cela posé, il est clair que l'ombre du point M du bord ne peut se trouver sur la surface du puit que dans la section ML, et par conséquent (en projection verticale) sur la courbe 345 350

323 corps M] *om.* P 324 problème P] premier problème M 330 quelque détail P] quelques détails M 333 fourniront P] fournissent M 335 exemple P] exposé M 343 EDCL, FIGH et *ecgf* P] EDCJGH et *ecgb* M 346 *pnqnk* P] *pnqk* M

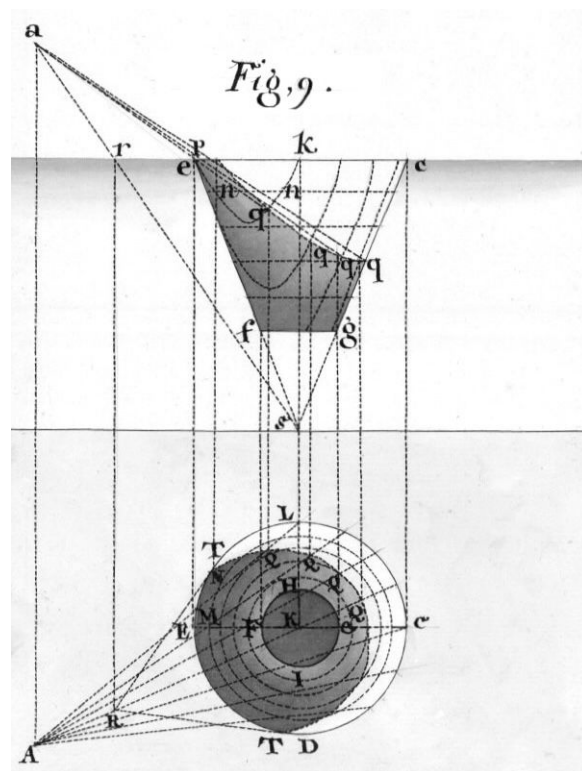


Figure 9

pnqnk. Donc si par le point *p* projection verticale du point M on mene le rayon *ap*, il coupera la courbe quelque part en un point *q* qui sera le point d'ombre : et abbaissant une verticale *qQ* qui coupera ML en un point Q on aura la projection horisontale du même point. On déterminera de la même manière les ombres de 355 tant de points du bord qu'on voudra et on aura par conséquent la courbe formée par leur continuité : à l'exception des deux points T et T où commence cette courbe, c'est à dire où elle coupe le bord du puit, que la méthode générale n'enseigne point à trouver. 360

Pour les déterminer, rémarquons que les points T et T demandés n'appartiennent point à la courbe TQT considérée comme *ombre portée* mais qu'ils sont les limites de l'interieur du bord du puit qui separent la partie TQT obscure de la partie éclairée TET et qu'en les considérant [P 14] comme des éléments de la surface 365 conique, leurs prolongements doivent passer par le point lumineux et être tangents à la surface. Ces prolongements qui sont des plans doivent donc se couper en une droite menée par le sommet du cône, et par le point lumineux, et représentée par AK en projection horisontale et par *aS* en projection verticale. De plus 370 ces prolongements doivent couper le prolongement de la base supérieure du cône en des droites tangentes à sa circonférence, et les droites doivent passer toutes deux par le point où *aS* coupe le même plan. Donc si du point *r* on abaisse la verticale *rR*, et si du point R on mene deux tangentes à la circonférence EDC les 375 points de contact seront les points T et T demandés.

Cette solution quelque particulière qu'elle soit au cas de l'exemple, se généralisera si l'on fait attention que les points T et T appartiennent à la courbe qui separe la partie éclairée de la surface du corps de la partie obscure, courbe dont nous avons 380 donné la construction dans la Figure 5^e et dont M, N, *m* et *n* dans cette meme figure sont des points. *Donc on aura les extremités*

351 *pnqnk* P] *pnqk* M 358 courbe M] ombre P 358 c'est à dire P] *om.* M 359–
360 que la méthode générale n'enseigne pas à trouver. P] alors la méthode générale
est en défaut, elle n'enseigne pas à les trouver. M 363 du bord du puit P] du puits
M 364 qui séparent la partie TQT obscure de la partie éclairée TET M] qui separent
la partie TET obscure! P 372 des P] deux M 373 les P] ces M 377 quelque
particulière qu'elle soit au cas P] quoique particulière au cas M 380 du corps M]
repet. del. P

385 de l'ombre portée par le bord d'un vase de figure quelconque sur la surface concave en déterminant les intersections de ce bord avec la courbe qui sépare la partie éclairée de sa [M 35] surface extérieure d'avec la partie obscure. On suppose ici l'épaisseur du vase infiniment mince, et si elle ne l'étoit pas il faudroit regarder la surface intérieure comme extérieure.

Fin des ombres.

Commentaire

Ligne 5 (optique)

Rayons qui s'écartent du centre avec une vitesse qui échappe à nos sens.

Beaucoup d'auteurs antérieurs au xvii^e siècle se sont prononcés sur la propagation instantanée ou temporelle de la lumière. La thèse que la lumière se propage dans un temps insensible a été soutenue par Ibn al-Haytham, *Optique* II, 3.60⁴⁴ et reprise par certains commentateurs. Il convient toutefois de noter que la question de la propagation temporelle de la lumière est longtemps restée un objet de spéculation, faute d'être accessible à la mesure. Le débat a changé de nature avec la première détermination de la vitesse de la lumière, donnée par Rømer en 1676 à partir des retards d'émersion des satellites de Jupiter. Quelle que soit la précision de cette détermination, Rømer a apporté la preuve – contre Descartes notamment – que la vitesse de la lumière était finie. Dès lors, la thèse de la propagation dans un temps insensible s'imposera. Il y a tout lieu de croire que Monge connaissait ce résultat de Rømer, qui est cité dans son *Dictionnaire de physique*⁴⁵.

383 de P] d'une M

44 - Ibn al-Haytham, *Optique* II, 3.60 = Abdelhamid I. Sabra, *The Optics of Ibn al-Haytham, books I-II-III : On direct vision*, 2 vols (London : The Warburg Institute, 1989), vol. 1, 146.

45 - Monge et al., *Dictionnaire de physique* (Paris : Hôtel de Thou, 1793), t. 1, 2.

Ligne 5 (optique)

Dans un milieu homogène et uniformément dense, ces rayons se propagent toujours en lignes droites.

Le principe de la propagation rectiligne de la lumière est ancien. On en trouve différentes versions dans l'histoire de l'optique. C'est un postulat pour Euclide⁴⁶ ; une donnée d'observation pour Archimède⁴⁷ ; un principe métaphysique pour Héron d'Alexandrie⁴⁸ ; un sujet d'expérimentation pour Ptolémée⁴⁹ et Ibn al-Haytham⁵⁰. Toutefois, dans l'optique ancienne, le principe de la propagation rectiligne n'a jamais pris la forme d'un énoncé conditionnel. En ajoutant « dans un milieu homogène et uniformément dense », Monge renouvelle donc l'énoncé, en indiquant que la propagation de la lumière n'est rectiligne que dans les milieux homogènes. Le passage indique donc en creux que Monge connaît la réfraction dans les milieux inhomogènes. Il a pu tirer la connaissance de ce phénomène de plusieurs auteurs, parmi lesquels Hooke, Huygens ou Maraldi⁵¹. Monge étudiera lui-même ce phénomène durant la campagne d'Égypte. Dans son *Mémoire sur le mirage*, il répète : « Lorsqu'un rayon de lumière traverse un milieu transparent et uniforme, sa direction est en ligne droite⁵². » Dans l'édition de la *Théorie des ombres et de la perspective* par Brisson, l'idée est reformulée : « La théorie des ombres est entièrement fondée sur un phénomène que tout le monde connaît, c'est que la lumière se propage en ligne droite

46 - Euclide, *L'Optique et la catoptrique*, éd. P. Ver Eecke (Paris : Blanchard, 1959), 57.

47 - *Commentaire de Théon d'Alexandrie sur les livres 1 et 2 de l'Almageste*, texte établi et annoté par A. Rome (Città del Vaticano : Biblioteca Apostolica Vaticana, 1936), 347-349.

48 - Alexander Jones, Pseudo-Ptolemy De speculis, *SCIAMVS : Sources and commentaries in exact sciences*, 2 (2001), 145-186, 154.

49 - Albert Lejeune, *Euclide et Ptolémée : Deux stades de l'optique géométrique grecque* (Louvain : Bibliothèque de l'Université, 1948), 37-41.

50 - Sabra, *op. cit.* in n. 44, vol. 1, 7, 13, 26.

51 - Robert Hooke, *Micrographia*, Obs. LVIII (London : Martyn and Allestry, 1665), 217-220 (inflection of the rays); Christiaan Huygens, *Traité de la lumière* (Leiden : van der Aa, 1690), 42-48 (courbure des rayons); Giacomo Filippo Maraldi, Détermination géographique de l'Isle de Corse (28 mars 1722), *Histoire de l'Académie royale des sciences. Année MDCCXXII. Avec les mémoires de mathématique & de physique, pour la même année* (Paris : Imprimerie Royale, 1724), 348-355, 349 (mirage).

52 - Monge, *Mémoire sur un phénomène d'optique, connu sous le nom de mirage*, *La Décade égyptienne*, 2 (1799), 37-46, 39. Monge donne une explication assez rudimentaire du mirage, Andrew T. Young, Did Monge really explain inferior mirages? *Comptes rendus : Physique*, 23 (2022), 467-481.

[...] Il faut cependant observer que cette proposition n'est rigoureusement vraie, que quand le milieu dans lequel la lumière se meut est d'une densité uniforme ⁵³.»

Lignes 14, 17-19 (optique)

Et par là priver totalement de lumière... C'est cette portion de l'espace qu'un corps opaque prive de lumière... qu'on nomme ombre de ce corps.

Monge reprend ici la formulation traditionnelle de l'ombre comme privation de lumière. Il est difficile de déterminer l'origine exacte de l'énoncé, tant les sources sont nombreuses. La formule, déjà en place chez Aristote, *Métaphysique* X, 2, 4, 1053b ⁵⁴, sera reprise par tous ses commentateurs. La définition est ensuite devenue un lieu commun de l'optique médiévale, l'expression *privatio lucis* étant employée, entre autres, par Bacon, *Liber de sensu et sensato* 10 ⁵⁵, Witelo, *Perspectiva* IV, 146 ⁵⁶, Pecham, *Perspectiva communis* I, 25 ⁵⁷ et Della Porta, *De refractione* ⁵⁸. Une source plus récente pourrait être l'article ombre de l'*Encyclopédie* : « Ombre est un espace privé de lumière ⁵⁹. »

Lignes 15-17

OMBR ... SOM] UMBR ... SUM.

Je conserve le lettrage UMBR ... SUM identique dans PP₂.

Ligne 46

Toutes choses d'ailleurs égales.

53 - Monge, *op. cit.* in n. 28, 138.

54 - Aristote, *La Métaphysique*, trad. Jules Tricot (Paris : Vrin, 1953), 539.

55 - Roger Bacon, *Liber de sensu et sensato : Summa de sophismatibus et distinctionibus*, éd. Robert Steele (Oxford : Clarendon Press, 1937), 35.

56 - Witelo, *op. cit.* in n. 12, 183.

57 - Pecham, *op. cit.* in n. 12, 102.

58 - Giambattista Della Porta, *Ioan. Baptistae Portae Neap. De refractione optices parte libri novem* (Napoli : Salviani, 1593), 196.

59 - [Jean Henri Samuel Formey], Ombre, *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* (Neufchâtel : Faulche, 1765), t. 11, 460a-463b, 460.

Je conserve l'expression un peu vieillie « toutes choses d'ailleurs égales », car c'est bien celle que Monge emploie à la fois dans la *Perspective*⁶⁰ et dans le *Dictionnaire de physique*⁶¹.

Lignes 46-49 (optique)

L'intensité apparente de l'ombre d'un corps reçu sur une surface quelconque doit croître ou décroître en raison inverse du carré de la distance de cette surface au point lumineux.

La copie M ajoute : « car il est démontré en physique que la lumière suit cette loi ». C'est en effet la loi photométrique énoncée par Pierre Bouguer : « Ainsi la lumière directe diminuera simplement en raison inverse du carré de la distance⁶². » Monge connaissait donc l'*Essai d'optique sur la gradation de la lumière* et la loi photométrique est également mentionnée dans le *Dictionnaire de physique*⁶³.

Ligne 63

Un globe opaque] sphérique, éclairé par un autre globe] sphérique...

Un globe étant sphérique, l'addition de M paraît superflue.

Ligne 72

OMB] UMB.

Je retiens le lettrage UMB, commun à PP₂.

Lignes 71-81 (optique)

Cela posé, il est clair : 1° que l'espace UMB (fini si $S > Q$ et infini si $Q = S$) doit être absolument obscur, puisqu'il ne reçoit aucun rayon de lumière... Enfin les points *a* et *e* sont très éclairés et

60 - Olivier, *op. cit.* in n. 27, 164.

61 - Monge *et al.*, *op. cit.* in n. 45, 82, 201, 325, 326.

62 - Pierre Bouguer, *Essai d'optique sur la gradation de la lumière* (Paris : Jombert, 1729), 288.

63 - Monge *et al.*, *op. cit.* in n. 45, 184.

autant qu'ils le peuvent être puisqu'ils reçoivent des rayons de toute la surface du corps lumineux.

La construction géométrique de l'ombre et de la pénombre donnée par Monge est identique à celle proposée à des dates antérieures. Il emploie le principe de l'analyse punctiforme de la lumière, qui consiste à décomposer la source de lumière en autant d'éléments finis que l'on veut, à construire la projection de ces éléments séparés sur un écran, et à interpréter la variation de la lumière dans la pénombre par la superposition des éléments projetés sur l'écran. Les principaux auteurs à avoir utilisé ce principe sont Ibn al-Haytham, *Traité sur la qualité des ombres*⁶⁴, Leonardo da Vinci, *Codex Atlanticus*, Maurolico, *Photismi de lumine et umbra* et Kepler, *Ad Vitellionem Paralipomena*⁶⁵. Cette analyse de la pénombre mise en oeuvre dans le *Traité des ombres* de 1766 est reprise dans la *Théorie des ombres de la perspective* : « Au milieu se trouve l'ombre absolue, et en dehors la clarté totale [...] On voit par là, que du contour intérieur au contour extérieur déterminés par deux surfaces développables, l'ombre va en diminuant et la clarté en augmentant, de manière qu'il y a une dégradation insensible entre l'ombre absolue renfermée dans le contour intérieur, et la clarté totale qui a lieu au delà du contour extérieur⁶⁶. »

Ligne 88 (optique)

Pénombre ... penè umbra.

Si l'étude géométrique de la pénombre remonte à Ibn al-Haytham, le terme latin *penumbra* a été inventé par Kepler : *NM penumbra dicatur, LN verò umbra*⁶⁷. On ne sait pas si Monge a lu Kepler ou les auteurs ultérieurs qui ont repris le terme, comme Newton⁶⁸, Maraldi⁶⁹ ou l'auteur de l'article ombre de l'*Encyclopédie*⁷⁰. Dans l'édition de 1820, Barnabé Brisson rem-

64 - Raynaud, *op. cit.* in n. 16, 93-95.

65 - Raynaud, *op. cit.* in n. 17, 259-277; Maurolico (1611), *op. cit.* in n. 18, 13; Bellè et Takahashi (éd.), *op. cit.* in n. 18, 59; Kepler, *op. cit.* in n. 19, 239.

66 - Monge, *op. cit.* in n. 28, 153-154.

67 - Kepler, *op. cit.* in n. 19, 239.

68 - Isaac Newton, *Optics, or a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light* (London : Smith, 1704), 28.

69 - Giacomo Filippo Maraldi, Diverses expériences d'optique, *Histoire de l'Académie royale des sciences* (1723), 111-142, 111.

70 - [Formey], *op. cit.* in n. 59, 460.

placera l'étymologie latine par sa traduction française : « Cette aire [...] se nomme la *pénombre*, ce qui signifie *presqu'ombre*⁷¹. »

Lignes 97-98 et 102

La grandeur cd de la pénombre sera proportionnelle à $Be(\tan cBe + \tan eBd)$. [...] l'angle cBe égale sensiblement $eBd = \frac{1}{2} cBd$.

Aux différences de notation près, les manuscrits donnent les mêmes relations, qui sont pourtant invalides sur la fig. 3 de P : le copiste a interverti les lettres d et e par inadvertance. La figure a été corrigée en conséquence.

Lignes 112-113 (optique)

Les rayons de lumière, lorsqu'ils rasant quelque corps dans leur route, se plient en s'approchant.

De cette simple remarque se déduit l'adhésion de Monge à la théorie newtonienne, très en vogue à la Révolution⁷². En physique, c'est évidemment la théorie de l'attraction universelle qui rencontra le plus de succès, mais l'optique de Newton (théorie de l'émission, théorie des accès) fut également bien diffusée. Newton cherchait à unifier la mécanique et l'optique en faisant l'hypothèse que les phénomènes de réflexion, de réfraction et de diffraction pouvaient être réduits à l'attraction universelle qui avait

71 - Monge, *op. cit.* in n. 28, 153-154.

72 - Peu de domaines des sciences et des arts échappèrent à l'influence de Newton. Le succès français de la physique newtonienne fut relayé par les publications de Voltaire (1694-1778), *Éléments de la philosophie de Newton, mis à la portée de tout le monde* (Amsterdam : Ledet, 1738), republiés en 1772, 1775, 1782, 1784, 1785, 1792. En médecine, Paul Joseph Barthez (1734-1806) défendit une version épurée du vitalisme, dans laquelle le principe vital se réduisait à une cause première inférée de la succession des phénomènes, comme la gravitation est inférée du mouvement des corps : « C'est ainsi qu'après avoir trouvé que la pesanteur & la force centrale de la Lune suivent une même loi dans leurs effets; Newton a dit que leur cause commune est la gravitation », Paul Joseph Barthez, *Nouveaux éléments de la science de l'homme* (Montpellier : Martel, 1778), vi. En architecture, Étienne Louis Boullée (1728-1799) projeta d'édifier un *Cénotaphe à Newton* ainsi légendé : « Esprit sublime! Immense et profond génie! être divin! Newton! Accepte l'hommage de mes faibles talents... Ô Newton!... J'ai eu l'idée de t'entourer de ta découverte, et ainsi, d'une certaine manière, de t'entourer de toi-même » (Paris, Bibliothèque nationale de France, Estampes, Ha 57 Rés. format 4, pl. 7 et 9).

fait son succès en mécanique. Cette visée d'unification le conduisit à supposer que les atomes de lumière devaient, en raison de leur masse présumée, subir l'attraction des corps : « Les rayons de lumière, en passant du verre vers le vide, sont fléchis vers le verre... et cela doit être dû au pouvoir qu'a le verre d'attirer les rayons quand ils sortent dans le vide⁷³. » Les français Pierre Simon de Laplace⁷⁴ (1749-1827), Étienne Louis Malus⁷⁵ (1775-1812) et Jean Baptiste Biot⁷⁶ (1774-1862) œuvreront à cette extension des lois de la mécanique à l'optique, en postulant que les « molécules de lumière » sont soumises à l'attraction des corps. Tout laisse penser cependant que ce n'est pas à leur contact, mais au contact des physiciens de la génération précédente que le jeune

73 - Newton, *op. cit.* in n. 68, 346.

74 - La théorie de l'attraction des corps sur la lumière est défendue dans le passage : « La molécule de lumière, avant son entrée dans le corps, est attirée perpendiculairement à la surface plan par laquelle elle doit y pénétrer. En effet, l'action des corps sur la lumière n'étant sensible qu'à de très-petites distances, les parties du corps un peu éloignées de la molécule de lumière n'ont point d'action sensible sur elle [...] », Pierre Simon de Laplace, *Traité de mécanique céleste*, t. 4 (Paris : Courcier, an XIII = 1805), 233.

75 - Malus formulera une hypothèse physique sur la nature de la lumière deux ans après avoir lu, le 20 avril 1807, son premier mémoire d'Optique : « Tous les phénomènes ordinaires de l'optique peuvent s'expliquer soit dans l'hypothèse d'Huyghens, qui les suppose produits par les vibrations d'un fluide éthéré, soit d'après l'opinion de Newton, qui les suppose produits par l'action des corps sur les molécules lumineuses, considérées elles-mêmes comme appartenant à une substance soumise aux forces attractives et répulsives qui servent à expliquer les autres phénomènes de la physique [...] Les observations qu'on vient de décrire prouvant que les phénomènes de réflexion sont différents pour un même angle d'incidence, ce qui ne peut avoir lieu dans l'hypothèse d'Huyghens, l'auteur en conclut non-seulement que la lumière est une substance soumise aux forces qui animent les autres corps, mais encore que la forme et la disposition de ses molécules ont une grande influence sur les phénomènes », Étienne Louis Malus, Sur les phénomènes qui dépendent des formes des molécules de la lumière, *Nouveau bulletin des sciences de la Société philomatique de Paris*, 1 (1809), 341-355, 343; repris à très peu près sous un nouveau titre, *id.*, Sur une propriété des forces répulsives qui agissent sur la lumière, *Mémoires de physique et de chimie, de la société d'Arcueil*, 2 (1809), 254-267, 260. Voir André Chappert, *Étienne-Louis Malus (1775-1812) et la théorie corpusculaire de la lumière* (Paris : Vrin, 1976).

76 - Biot cite directement le physicien anglais : « Newton a fait plus encore que séparer les éléments simples de la lumière; il a mesuré la marche des rayons à travers les corps transparents; il a montré que les inflexions de cette marche étoient produites par une véritable attraction des corps pour la lumière, et de la lumière pour les corps; et de même qu'il avoit mesuré la gravitation universelle des astres les uns sur les autres, il donna également le moyen de calculer cette nouvelle sorte d'attraction », Jean Baptiste Biot, Mémoire sur plusieurs propriétés physiques nouvellement découvertes dans les molécules de la lumière, lu à la séance publique de l'Institut, le 12 janvier 1812, *Journal de physique et de chimie*, 76 (1813), 129-139, 132.

Monge découvrit l'optique newtonienne.

En 1723, Maraldi présente une théorie de la diffraction dans laquelle il suppose qu'une partie des rayons qui rencontrent un cylindre, « refluent » derrière un cylindre, « comme fait l'eau d'une rivière autour d'un pilier d'un pont »⁷⁷. Comme Monge ne suit pas la terminologie de Maraldi, il faut essayer de déterminer plus exactement sa source. La théorie de Maraldi a été discutée. Deux textes qui emploient les mots « rasant » et « se plient » du *Traité des ombres* sont antérieurs à 1766. Le premier est celui de Laurent Béraud, qui écrit : « Les rayons qui sont tangents aux corps opaques, ou qui rasent de très-près leur surface, se plient en se détournant de la ligne droite »⁷⁸. Le second est l'article « ombre », rédigé par Formey pour l'*Encyclopédie* : « M. Maraldi, pour expliquer ce phénomène, prétend que les rayons de lumière qui rasent ou touchent le corps opaque, & qui devraient renfermer l'ombre, ne continuent pas leur chemin en ligne droite après avoir rasé le corps, mais se rompent & se replient vers le corps »⁷⁹.

Comme l'*Encyclopédie* définit l'ombre comme « privation de lumière » (lignes 17-19), et utilise également le concept de pénombre (ligne 88), le principe d'économie recommande de tenir l'*Encyclopédie* pour la source centrale du *Traité des ombres*. Monge, qui devint le répétiteur officiel de Bossut à vingt ans, trouva là sans doute matière à faire une leçon à l'École de Mézières. Notons que son élève, Barnabé Brisson, reprendra la même formulation dans son *Dictionnaire raisonné de physique* : « Déflection des rayons de lumière, est cette propriété des rayons, que Newton a nommée inflexion, et d'autres diffraction. Elle consiste en ce que les rayons de lumière, qui rasent un corps opaque, ne continuent pas leur chemin en ligne droite, mais se détournent en se pliant, et se plient d'autant plus qu'ils sont plus proches du corps »⁸⁰.

77 - Maraldi, *op. cit.* in n. 69, 115.

78 - Laurent Béraud, *Mémoire sur les éclipses annulaires de soleil* (Lyon : Duplain, 1764), 26.

79 - [Formey], *op. cit.* in n. 59, 462.

80 - Barnabé Brisson, *Dictionnaire raisonné de physique* (Paris : Librairie économique, 1799), t. 2, 385.

Lignes 114-116 (perspective)

Dans les dessins, les teintes des ombres ne doivent pas être uniformes, mais s'adoucir insensiblement...

De tels passages montrent que l'intérêt de Monge n'est pas exclusivement mathématique et optique. Il se porte à l'occasion sur l'art de représenter les dégradés et les reflets de lumière au moyen du dessin. Le lavis, technique très utile pour représenter le relief dans le dessin de fortification, était partie intégrante de l'enseignement polytechnique, ainsi que le prévoient déjà les *Développemens sur l'enseignement adopté pour l'École centrale des travaux publics*, décrétée par la Convention le 21 ventôse an II de la République : « Les élèves auront l'occasion de s'exercer dans l'art raisonné du lavis, et de se familiariser avec l'usage du pinceau⁸¹. »

Les reflets ont été décrits par Abraham Bosse, *Manière universelle de Mr Desargues pour pratiquer la perspective*⁸², mais une autre source possible pourrait être le *Traité des ombres dans le dessin géométral* attribué à Chastillon, qui écrit à ce sujet : « La réflexion de la lumière agissant sur tous les objets environnants, les corps environnants occasionnent nécessairement sur les parties des corps qui sont ombrés, des clairs et des obscurs, c'est ce que les peintres appellent le *reflet*⁸³. » Monge, Hachette et Brissot apporteront des précisions sur le reflet dans les réélaborations ultérieures du traité : « Ce reflet paraît à l'oeil un peu plus large qu'il ne l'est en effet, et les parties contiguës paraissent un peu plus obscures. Pour reproduire dans la peinture ces apparences, essentielles à la vérité de l'image, il faudra donner une plus grande largeur au reflet, et placer parallèlement, à droite et à gauche, une teinte un peu plus sombre...⁸⁴ » Cette observation force l'attention par son caractère contre-intuitif : en position de choisir entre exactitude géométrique et justesse perceptive,

81 - *Développemens*, *op. cit.* in n. 5, 8.

82 - Bosse, *op. cit.* in n. 14, 197.

83 - Nicolas de Chastillon, *Traité des ombres dans le dessin géométral* (1764), Vincennes, Archives de l'inspection du Génie, art. 21, sect. 13, carton n° 1 ; art. 18, sect. 3, carton n° 3 ; Olivier, *op. cit.* in n. 27, 24.

84 - Monge, *op. cit.* in n. 28, 183 ; voir aussi Monge et Hachette, *Sur la théorie des ombres et de la perspective : sur les points brillants des surfaces courbes*, *Correspondance sur l'École impériale polytechnique*, t. 1/8 (1807), 295-305.

Le Traité des ombres de Monge

Monge choisit la seconde – qu’il appelle « la vérité de l’image ». Il recommande en conséquence d’altérer la construction géométrique pour satisfaire l’œil.

On notera que le rendu des reflets sur la sphère UQB (fig. 3) ou sur la verticale xm du cylindre (fig. 8) est conforme à ces idées.

Lignes 122-305 (perspective)

Nous allons d’abord supposer les rayons du soleil parallèles, c’est à dire émanés d’un foyer infiniment éloigné.

Monge étudie tout d’abord la projection des rayons lumineux issus d’une source à l’infini, connue sous le nom d’« ombre au soleil ». La construction géométrique, et l’expression qui s’y réfère, sont anciennes. On en trouve des occurrences dans les perspectives du ^{xvii}^e siècle, comme celles de Vaulezard, Dubreuil et Desargues⁸⁵.

Lignes 133-136 (géométrie descriptive)

On construira les projections du corps opaque qui doit porter l’ombre et de la surface qui doit la recevoir sur deux plans quelconques, qu’il est cependant plus commode de supposer perpendiculaires l’un à l’autre.

Dans ce passage du *Traité des ombres*, Monge introduit la double projection, principe fondamental de la géométrie descriptive. La coordination des vues entre le plan horizontal, de front et de profil, et l’emploi des lignes de rappel entre les vues permet de représenter géométriquement n’importe quel solide sur la feuille de dessin. Les historiens de la géométrie ont montré que ces principes, plus ou moins confusément appliqués, se perdent dans la nuit des temps. Aux sources de la géométrie savante, qui ont été documentée plus haut (*Contenu du traité*, note 21), on ajoutera les méthodes de la stéréotomie utilisées sur les chantiers

85 - Vaulezard, *op. cit.* in n. 14, 32; Dubreuil, *op. cit.* in n. 14, 132; Bosse, *op. cit.* in n. 14, 170-195.

par les maîtres-maçons et les appareilleurs⁸⁶. On notera que, au moment de mettre en oeuvre les méthodes de projection dans le *Traité des ombres*, Monge écrit spontanément : « si par les règles de la stéréotomie on projete cette section en HMIN [...] » (ligne 175). Ce pourrait être l'origine des méthodes de la Géométrie descriptive, dont il n'est pas l'inventeur.

Ligne 139

GZD] CZD.

Je conserve le lettrage CZD, commun à PP₂.

Ligne 139 (géométrie descriptive)

Projection horisontale... projections horisontale et verticale...

Ces termes sont déjà employés par Nicolas de Chastillon : « projection horizontale », « projections horizontales et verticales⁸⁷ ».

Ligne 142

YA] RA.

Dans la discussion de la fig. 5, je nomme le rayon RA, comme dans PP₂.

Lignes 182-183 (géométrie descriptive)

L'intersection de cette surface par le plan *hl*, représentée dans l'élévation par *kl*.

C'est bien l'intersection du plan des rayons lumineux *hl* avec le corps de base ELFL qui est représentée en *kl*, et non le plan lui-même.

⁸⁶ - Gino Loria, *Storia della geometria descrittiva dalle origini sino ai giorni nostri* (Milano : Hoepli, 1921); Joël Sakarovitch, *Épures d'architecture : De la coupe des pierres à la géométrie descriptive, xvi^e-xix^e siècles* (Basel : Birkhäuser, 1998); *id.*, La géométrie descriptive et l'oeuvre de Gaspard Monge, in Dominique Raynaud (dir.), *Géométrie pratique : Géomètres, ingénieurs et architectes, xvi^e-xvii^e siècle* (Besançon : Presses universitaires de Franche-Comté, 2015), 95-118.

⁸⁷ - Chastillon, *op. cit.* in n. 83, 8-10.

Lignes 184-185, 241-242, et 299-300 (géométrie descriptive)

Les rencontres O et P de cette ligne avec les droites MO et NP seront deux points du contour de l'ombre demandée.

Leurs intersections avec BQ détermineront l'ombre de l'arrête verticale représentée par le point B.

Leurs rencontres avec les droites correspondantes BD et BC détermineront deux de ses points M et N.

Dans chacun de ces passages, Monge détermine les points de l'ombre par intersection des rayons tangents et de la surface de projection. Comme la même méthode est utilisée dans le problème et dans les exercices, il suffit de prendre l'exemple du problème général. Soit à déterminer l'ombre portée par HMIN sur le corps de projection ELFL; soit le rayon directeur RA (fig. 5). L'application du rayon RA au corps ombrant donne les tangentes MO et NP parallèles à RA en projection horizontale, *mo* et *np* parallèles à *ra* en projection frontale. Le plan formé par les deux tangentes coupe le corps de projection suivant la ligne LOKPL en projection horizontale, *kopl* en projection frontale. L'ombre du point M est l'intersection $O = \text{LOKPL} \cap \text{MO}$ en projection horizontale. On mène la ligne de rappel *Oo*, qui donne le point $o = \text{kopl} \cap \text{mo}$ en projection frontale. L'ombre du point M, *m* est O, *o*. Monge procède de même dans les exercices.

Lignes 203-217 (géométrie descriptive)

La projection horizontale de l'ombre d'une verticale reçue sur quelque surface que ce soit est toujours une droite... Par la même raison l'ombre d'une droite...

Le premier corollaire énonce une propriété fondamentale : la projection d'une droite est une droite. On dirait, en termes modernes : la projection de l'ombre (au soleil et au flambeau) est une transformation projective qui conserve les alignements.

Les deux autres corollaires sont de simples applications de cette propriété à la construction des ombres.

Lignes 212 et 215 (perspective)

Pour la même raison l'ombre] projection de l'ombre d'une droite quelconque...

L'ombre] projection de l'ombre d'une ligne ou d'un polygone quelconque...

Monge a longtemps hésité entre « ombre » et « projection de l'ombre ». On lit dans l'édition de Brisson : « Dans le langage ordinaire toutefois, ce n'est pas là ce qu'on entend le plus souvent par le mot *ombre*, lorsque par exemple en se promenant au soleil on remarque que les *ombres sont courtes à midi*. Dans cette acception, l'ombre n'est point l'espace privé de lumière par l'interposition d'un corps qui arrête une partie des rayons lancés par le point lumineux, mais c'est la projection de cet espace sur la surface qui la reçoit : c'est dans ce dernier sens que nous emploierons habituellement ce mot ⁸⁸. »

Ligne 229 (géométrie descriptive)

KN base de l'élévation.

Quelques remarques s'imposent à propos de la note : « Monge désigne par *base de l'élévation* ce qu'il appella plus tard *ligne de terre* ⁸⁹. » S'il est vrai que l'expression « ligne de terre » est devenue d'un usage régulier en géométrie descriptive, ce n'est pas une création de Monge. L'expression circulait déjà sous l'Ancien Régime. Elle apparaît dans la *Perspective pratique* de Jean Dubreuil ⁹⁰, dans le *Cours de mathématiques* de Jacques Ozanam ⁹¹, dans le *Traité de la perspective pratique* de Courtonne ⁹² et dans le *Grand Vocabulaire françois*, à l'article Perspective ⁹³. Quant au terme « base de l'élévation », il n'est utilisé par Monge que dans le *Traité des ombres* et n'a le même sens que dans le *Traité pra-*

88 - Monge, *op. cit.* in n. 28, 139-140.

89 - Olivier, *op. cit.* in n. 27, 31.

90 - Dubreuil, *op. cit.* in n. 14, 17.

91 - Jacques Ozanam, *Cours de mathématiques*, vol. 4, *La Perspective théorique et pratique* (Paris : Jombert, 1693), 35.

92 - Jean Courtonne, *Traité de la perspective pratique, avec des remarques sur l'architecture* (Paris : Vincent, 1725), 41.

93 - *Grand vocabulaire françois* (Paris : Hôtel de Thou, 1772), tome 21, 498.

tique et complet de tous les mesurages de Sergent⁹⁴. Le *Grand Vocabulaire françois* mentionne une « ligne d'élévation », mais celle-ci est une verticale élevée sur le plan fixant l'échelle des hauteurs⁹⁵.

Lignes 285-287 (géométrie descriptive)

Soient menées les tangentes FG et HI parallèles à la projection horizontale du rayon de lumière.

Monge ne détaille pas la construction des tangentes. Pour les construire géométriquement, on mène une perpendiculaire au rayon directeur RA, puis une parallèle à cette droite passant par le centre (non indexé) du cercle FKH. L'intersection de cette droite et de la circonférence FKH donne les points F, H, par lesquels on mène FG, HI parallèles au rayon directeur RA. Les droites FG, HI sont les tangentes demandées.

Lignes 293-296 (géométrie descriptive)

Par le point *k* soit mené *kn* parallèle à l'incidence solaire, et soit regardée cette ligne comme la projection verticale d'un plan parallèle au rayon de lumière.

L'ombre du point K sur le plan incliné ne peut pas être déterminée directement, puisqu'on ne peut inférer ni la projection frontale *l* à partir de L, ni la projection horizontale L à partir de *l*. Monge recourt à l'artifice suivant : il assimile le rayon directeur *ya* à un plan coupant les côtés du plan incliné aux points *m*, *n*. La projection frontale *l* se trouve donc sur *kmln*. Les lignes de rappel *mM*, *nN* abaissées à partir de *m*, *n*, donnent le point M sur BD et le point N sur BC. La projection horizontale de *mln* est MLN. Si on trace en plan le rayon KL parallèle au rayon directeur RA, l'ombre du point K du cylindre sera $L = MN \cap KL$. Par suite, la projection frontale de L sera $l = kmn \cap Ll$. On procède de même avec d'autres points pour déterminer l'ombre GLI du cercle FKH sur le plan incliné.

94 - E. Sergent, *Traité pratique et complet de tous les mesurages, métrages, jaugeages de tous les corps* (Paris, 1857), 234.

95 - *Grand vocabulaire françois*, op. cit. in n. 93, 498.

Lignes 308-388 (perspective)

Voyons maintenant la manière de déterminer l'ombre d'un corps éclairé par un corps lumineux placé à une distance sensiblement finie.

Dans cette deuxième partie du traité, Monge étudie la projection de rayons issus d'une source ponctuelle à distance finie, dite « ombre au flambeau ». Cette construction ancienne, employée régulièrement par Guidobaldo del Monte, n'a pris ce nom que lorsqu'elle a été distinguée de l'ombre au soleil. Les expressions « ombre au flambeau » et « ombre au soleil » ont donc été lancées parallèlement par les auteurs du xvii^e siècle comme Vaulezard, *Abrégé ou racourcy de la perspective par l'imitation*⁹⁶, Dubreuil, *Perspective pratique*⁹⁷, Desargues, *Manière universelle de Mr. Desargues pour pratiquer la perspective*⁹⁸.

Lignes 355-380 (géométrie descriptive)

On déterminera de la même manière les ombres de tant de points du bord qu'on voudra et on aura par conséquent la courbe formée par leur continuité, à l'exception des deux points T et T où commence cette courbe... que la méthode générale n'enseigne point à trouver. Pour les déterminer...

Les points T et T, qui séparent la partie dans l'ombre TQT de la partie éclairée TET du cône, ne sont pas d'une construction immédiate, étant donné qu'on ne peut pas déduire leur position horizontale de la vue frontale, ni leur position frontale de la vue horizontale. La solution imaginée par Monge consiste à considérer les « prolongements » de ces points, c'est-à-dire les plans tangents au cône passant par le sommet du cône s et le point lumineux a . Le rayon as coupe le plan horizontal en r . On mène la ligne de rappel rR , puis on trace les tangentes RT, RT au cercle EDCL. Connaissant les points T, T de la vue horizontale, il suffit de les remonter sur la vue frontale au moyen de lignes de rappel (ces points ne sont pas indexés sur la vue frontale).

96 - Vaulezard, *op. cit.* in n. 14, 32.

97 - Dubreuil, *op. cit.* in n. 14, 141.

98 - Bosse, *op. cit.* in n. 14, 55.

Lignes 370-372 (géométrie descriptive)

De plus ces prolongements doivent couper le prolongement de la base supérieure du cône en des droites tangentes à sa circonférence.

Comme dans l'Exemple III (fig. 8), Monge ne détaille pas la construction des tangentes. En toute rigueur, il faut tracer en plan RK passant par le centre K du cercle EDCL, prendre le milieu du segment RK, puis tracer le cercle ayant pour diamètre RK. L'intersection des deux cercles EDCL et RTKT donne les deux points T, T. Par la réciproque du théorème du cercle circonscrit, le triangle RKT est rectangle en T. On trace alors les droites RT, RT qui sont les tangentes demandées.

Les figures

Toutes les illustrations proviennent du Fonds Gaspard Monge des Archives de l'École polytechnique, IX GM 16.1.4.

Les fig. 1 et 2 sont présentes dans PP₂VM (au lavis dans PP₂). Les deux figures sont superposées dans PV; juxtaposées dans P₂M. Dans M, l'ombre *ab* est hachurée. Dans V, la lettre P de l'écran de projection LP manque; le centre de la sphère Q n'est pas noté, son diamètre UB est noté BB par erreur. Dans P₂, l'écran LP est représenté par une double ligne; le copiste a tracé le diamètre UB de la sphère de centre Q.

Les fig. 3-4 sont reproduites dans PP₂VM (au lavis dans PP₂). Les deux figures sont superposées dans PV; juxtaposées dans P₂M. Dans M, les rayons EB, FU se croisent pratiquement à angle droit; les rayons aux points de tangence sont tracés; et le lettrage est sensiblement différent. Dans V, la lettre P de l'écran de projection LP manque; l'axe SQ est prolongé au-delà de l'écran PL jusqu'au point V. Dans P₂, l'écran LP est représenté par une double ligne. P reste le meilleur témoin, en dépit de la permutation des lettres *d, e* par erreur. Je corrige la figure en conséquence.

La fig. 5 est présente dans PP₂VM. Aucune de ces figures n'est exécutée au lavis. Dans V, le point *h* n'est pas sur le bon rayon directeur *hmn*, le point *g* n'est pas noté, et toute la zone FLPKOL est hachurée. Les figures PP₂ sont semblables et le lettrage est

identique, sinon que, dans P_2 , les hachures sont plus fortes et la lettre f n'est pas à sa place. Le copiste de P a pris soin de tracer en trait fort le rayon directeur ya , RA.

La fig. 6 est présente dans PVM. Dans M, le rayon directeur ya a été séparé pour éviter qu'il ne se superpose au tracé du carré et de son ombre portée. Les figures PV sont très semblables et ont exactement le même lettrage. Les lignes de rappel yR , aA sont omises dans V.

La fig. 7 est donnée par PVM. Dans M, les droites mo , ya ont une orientation différente. Les lignes de rappel aA , yY , oN , mM sont tracées. Les figures PV sont très semblables. On ne note que deux différences : le copiste de P a tracé les lignes de rappel mM , oN . Dans V, les lignes ya , mo sont prolongées jusqu'à la ligne de terre. Le point T est omis.

La fig. 8 est présente dans PVM. La figure de M est rudimentaire. Le rayon directeur ay , AY a une direction différente par rapport à PV. Les figures PV sont très semblables et ont le même lettrage. V comporte quelques erreurs par rapport à P : les lettres z , b sont omises et les lettres de la projection frontale k , x sont écrites en capitales K, X. Le copiste de V a ajouté la diagonale inutile bx en trait interrompu. Dans PV, les lettres dd , ee sont utilisées deux fois ; le rayon directeur ay , AY est tracé en trait fort. Dans P, les points m , M semblent être sur l'arête du cylindre, mais appartiennent en réalité aux côtés db , DB du plan incliné.

La fig. 9 ne se trouve que dans PM. Dans M, la figure est sommaire. Le tronc de cône est très peu profond et la position de la source A a été changée de sorte que les rayons ar , AR sont parallèles.

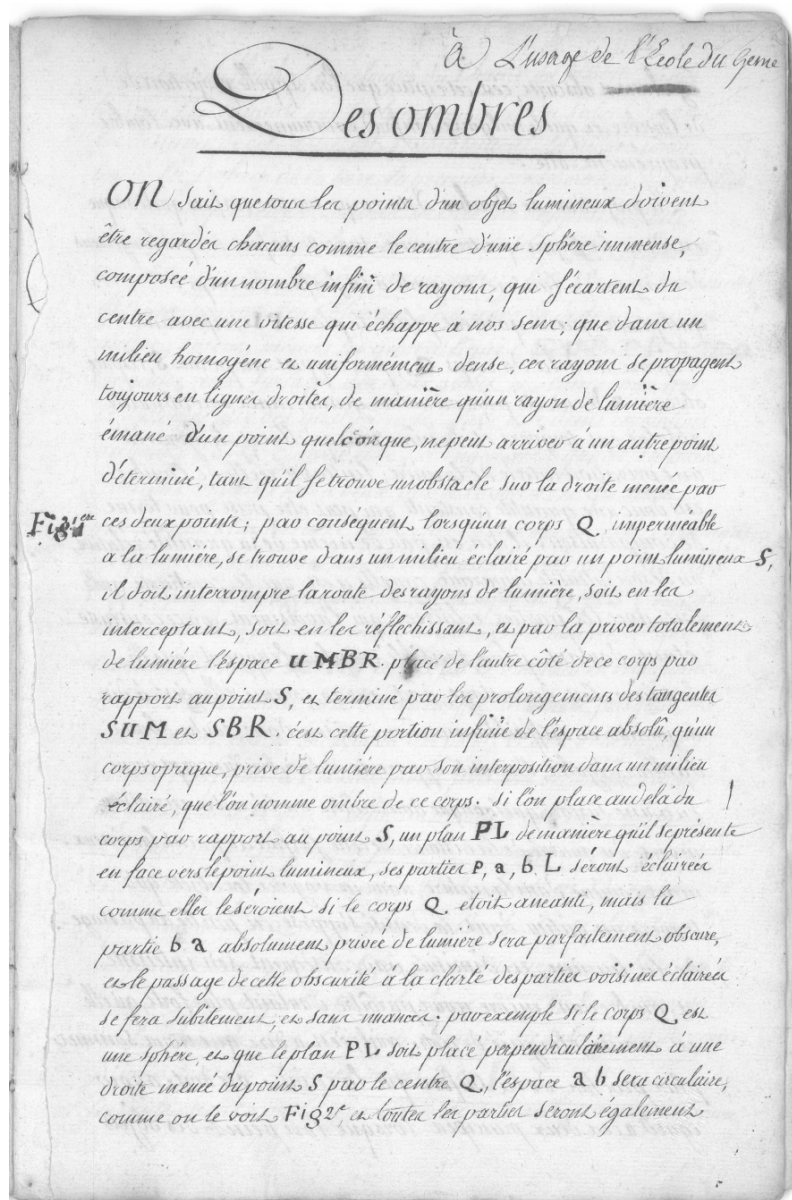
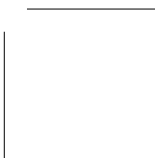


Figure 10

Ms. P, Palaiseau, Bibliothèque centrale de l'École polytechnique, centre de ressources historiques, Archives, IX GM 16.1.4, fol. 1.



ANALYSES D'OUVRAGES

Liste des analyses d'ouvrages publiées dans ce numéro

Raphaële ANDRAULT, *Le Fer ou le feu : Penser la douleur après Descartes* (Paris : Classiques Garnier, 2024), par Élodie Boissard

Wolfgang U. ECKART, Robert Fox (dir.), *Blockades of the mind : Science, academies, and the aftermath of the Great War*, revue *Acta historica Leopoldina*, 78 (2021), par Christophe Eckes

Lucie FABRY, Sophie ROUX (dir.), *Bachelardismes et anti-bachelardismes : Controverses épistémologiques des années 1960* (Paris : Classiques Garnier, 2025), par Laurent Loison

Frédéric LE BLAY, *La Fascination du volcan : Les mythes et la science* (Paris : Vrin, 2023), par Brice Gruet

Li Shanlan, *Catégories analogues d'accumulations discrètes*, éd., trad. et introd. par Andrea Bréard (Paris : Les Belles Lettres, 2023), par Zhou Xiaohan

Paolo MANCOSU, Sergio GALVAN, Richard ZACH, *Introduction à la théorie de la démonstration : Élimination des coupures, normalisation et preuves de cohérence* (Paris : Vrin, 2022), par Perceval Pillon

Roselyne REY, *Écrits d'histoire de la médecine et des sciences de la vie*, éd. et introd. par Anne-Lise Rey et Vincent Barras (Lausanne, Éditions BHMS, 2024), par François Duchesneau

Raphaële ANDRAULT, *Le Fer ou le feu : Penser la douleur après Descartes* (Paris : Classiques Garnier, 2024), 150 × 220 mm, 390 p., bibliogr., index nominum, index rerum, coll. « Les Anciens et les Modernes : Études de philosophie ».

Avec son très bel ouvrage *Le Fer ou le feu : Penser la douleur après Descartes*, Raphaële Andrault écrit un chapitre clef d'une histoire de la douleur qu'elle situe au croisement entre histoire de la sensibilité et histoire des émotions du fait de la double dimension sensorielle et affective de la douleur. À l'Âge classique, Descartes et les auteurs qui discutent sa philosophie prennent la douleur aiguë comme exemple typique dans leurs textes sur les rapports du corps et de l'âme ou esprit, ce dont elle dégage une « conception cartésienne de la douleur ». Rappelant que la philosophie cartésienne, retenue par la postérité comme un « dualisme », n'a pourtant pas occulté la douleur, mais l'a mobilisée de manière informée par la médecine pour démontrer l'union de l'âme et du corps, R. Andrault montre que cette philosophie engage à tenir compte de la spécificité de notre vie affective : elle met en évidence un lien entre la thèse de l'absence de ressemblance entre nos représentations et les mouvements physiques qui les occasionnent, et le développement de la dimension affective de la douleur. La grande originalité de l'ouvrage est de commenter ensemble un corpus de textes de Descartes et « postcartésiens », datant de 1630 à 1715, et un corpus de textes médicaux européens écrits de 1500 à 1730, relevant de la chirurgie, de la pharmacopée et de la médecine pratique, pour faire une « histoire épaisse » qui porte sur plusieurs champs du savoir interreliés dans un moment circonscrit. Descartes mobilise des connaissances médicales, anatomiques, pour expliquer la douleur comme mouvement de l'âme suite à l'action mécanique sur le cerveau de fibres nerveuses sollicitées violemment qui se contractent, et il emprunte l'exemple de la douleur fantôme aux chirurgiens qui amputent des membres sur les champs de bataille européens, pour prouver la centralisation cérébrale du siège de la douleur et avec elle de l'âme. Son explication, en accord avec la physique mécaniste, simple et visualisable, se diffuse largement, occultant pour la postérité des explications concurrentes alors présentes en médecine : de nombreux types de douleurs (gravitives, tensives, pongitives, pulsatives...) y sont liés à diverses causes, alors que Descartes mobilise de façon paradigmatique la douleur que suscite le fer d'une arme blanche, épée ou flèche, en rompant les chairs, leur infligeant une « solution de continuité ». La « conception cartésienne de la douleur » est celle d'un avertissement confus pour l'esprit d'une lésion du corps. La douleur n'est pas une connaissance claire et intelligible de sa cause, mais étant vivement désagréable, elle fait efficacement agir de sorte à assurer la conservation de la vie du corps. Cette conception commune à Descartes, Malebranche, Lamy, Bayle et Arnauld, est qualifiée par l'autrice de « fonctionnaliste » car centrée sur la fonction de conservation de la vie. Celle-ci est permise par le caractère confus voire trompeur de la douleur en tant que représentation : le sujet s'y croit confondu avec son corps, et localise la douleur dans une partie de celui-ci alors qu'elle se trouve dans son esprit, mais c'est bien ce qui le fait agir de sorte à se préserver de ce qui lui nuit. À l'opposé, Leibniz adopte selon R. Andrault un « représentationnalisme fort » dans lequel la douleur représente *de façon ressemblante* un état du corps qui est son objet,

Analyses d'ouvrages

ce qui est le sens de la « relation expressive » entre l'âme et le corps dont le rapport réglé est une « harmonie préétablie ». Soulignons que la « conception cartésienne de la douleur » n'exclut pas que la douleur représente une lésion corporelle, au sens où elle la signale, pas plus que Leibniz ne nie que la douleur puisse avoir une fonction, subordonnée aux finalités divines impénétrables : mais la première refuse que la douleur *ressemble* à sa cause physique, ce qui en ferait une connaissance claire mais incapable de motiver efficacement à s'en préserver, tandis que Leibniz fait au contraire de la douleur une perception comme une autre, représentation ressemblante de la lésion qui est son objet – distincte de sa cause résidant dans l'âme elle-même dont les mouvements sont spontanés en l'absence d'interaction âme-corps. Ici et là, les tenants de la conception cartésienne de la douleur se divisent, par exemple sur la façon dont il convient d'expliquer que les animaux assurent leur propre conservation sans douleur, dès lors que Descartes leur refuse une âme, ou pour savoir si ce qui est essentiel au plaisir ou à la douleur est son objet, ou bien son caractère désagréable qui ne serait lié à l'objet que de façon contingente. R. Andrault dégage toutes ces positions théoriques et les met en lien avec des auteurs contemporains comme Tye, Kripke, Aydede ou Clark. Son ouvrage est une lecture indispensable en philosophie de la douleur : il permet de parvenir à une pleine compréhension des principales conceptions de celle-ci, dans le cadre des débats philosophiques sur le cartésianisme qui ont vu leur émergence.

Élodie BOISSARD

Wolfgang U. ECKART, Robert Fox (dir.), *Blockades of the mind : Science, academies, and the aftermath of the Great War*, revue *Acta historica Leopoldina*, 78 (2021), 170 × 240 mm, 169 p., 2 fig. n. et bl., 3 fig. coul., 5 tabl., réf. bibliogr., index nominum.

Ce volume des *Acta historica Leopoldina*, édité par l'historien de la médecine Wolfgang Uwe Eckart et l'historien des sciences Robert Fox, rassemble sept contributions présentées à l'occasion du dernier des trois grands colloques qui avaient pour objectif commun de mieux cerner le rôle exercé par les académies scientifiques sur un plan tant intellectuel, culturel que politique pendant et durant l'immédiat après première guerre mondiale. L'organisation de ces trois colloques a impliqué le concours de la *Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina*, de l'*Académie des sciences* et de la *Royal Society*. Le premier d'entre eux a eu lieu à Halle en 2014, le deuxième à Metz en 2017 et le troisième à Londres en 2018. Les actes des colloques de Halle et de Metz ont été accueillis dans les volumes 68 et 75 des *Acta historica Leopoldina*¹. Loin de se restreindre à une histoire institutionnelle des académies scientifiques

1 - Wolfgang Uwe Eckart et Rainer Godel (dir.), « *Krieg der Gelehrten* » und die Welt der Akademien 1914-1924, revue *Acta Historica Leopoldina*, 68 (2016), 173 p. ; Claude Debru (dir.), *Akademien im Kriege / Académies en guerre / Academies in war*, revue *Acta historica Leopoldina*, 75 (2019), 197 p. Voir aussi Matthias Berg et Jens Thiel (dir.), *Europäische Wissenschaftsakademien im « Krieg der Geister » : Reden und Dokumente 1914 bis 1920*, revue *Acta historica Leopoldina*, 72 (2018), 319 p.

pendant la Grande Guerre, les contributions rassemblées dans ces deux premiers volumes visaient à comprendre de manière bien plus ambitieuse la place qu'ont occupée les sciences et les technologies dans les efforts de guerre des nations belligérantes. Le présent volume s'intéresse plus spécifiquement aux phénomènes de sortie de guerre sous l'angle de l'histoire sociale des sciences. Il offre un complément essentiel aux deux précédents volumes et permet ainsi de mieux comprendre comment et sous quelles formes l'opposition entre les Alliés et les anciens Empires centraux s'est poursuivie d'un point de vue scientifique, intellectuel et culturel au cours des années 1920.

Avant de résumer brièvement chacune des contributions qui composent le présent volume, nous voudrions en souligner brièvement la richesse et la pertinence à plusieurs niveaux : il permet de faire varier les échelles d'observation – globale ou très localisée – ; il couvre des champs disciplinaires extrêmement variés – astronomie, météorologie, psychologie mais aussi, dans une moindre mesure, sciences biologiques et ethnologie – ; il nous met en présence d'un matériau archivistique extrêmement riche ; enfin, il contient des articles qui tantôt ont une vertu programmatique, tantôt sont le résultat de recherches très abouties.

Ainsi, la contribution de Danielle Fauque et de Robert Fox, qui nous semble absolument centrale, permet de mieux comprendre, à une échelle globale, les tensions entre intérêts politiques nationaux et internationalisme scientifique qui animent le conseil international de recherches (CIR) et les « unions » par champ disciplinaire qui lui sont associées – à commencer par l'union internationale astronomique (UIA), l'union internationale de géodésie et de géophysique (UIGG) ou encore l'union internationale de chimie pure et appliquée (UICPA). Le CIR est institué par les Alliés au palais des Académies de Bruxelles à la fin du mois de juillet 1919 dans l'objectif de réordonner et de contrôler les relations scientifiques à l'échelle mondiale. Dès sa création, il se caractérise par une politique d'exclusion à l'encontre de l'Allemagne, de l'Autriche, de la Hongrie et de la Bulgarie. Or, Danielle Fauque et Robert Fox montrent que cette politique, défendue avec une rare intransigeance par le mathématicien Émile Picard qui préside le CIR jusqu'à ce que celui-ci soit remplacé en 1931 par le Conseil international des unions scientifiques (CIUS), est rapidement contestée notamment par des représentants des pays neutres – Suisse et Suède en particulier – qui se montrent favorables à une reprise rapide des relations avec leurs homologues exerçant dans les anciens Empires centraux. Des divergences sont également manifestes parmi les Alliés, les États-Unis se montrant par exemple favorables à une normalisation des relations avec leurs homologues allemands ou autrichiens. Fauque et Fox montrent également comment cette politique d'exclusion a été contestée au niveau des unions placées sous l'autorité du CIR. Enfin, leur contribution permet de moduler fortement le récit de Picard selon lequel le CIUS se situerait dans la continuité du CIR. Dès sa fondation en 1931, le CIUS fonctionne de manière plus collégiale et offre une plus grande indépendance aux unions disciplinaires.

La contribution de Giuditta Parolini permet pour sa part de mieux cerner les tensions entre coopération internationale et intérêts nationaux en pre-

Analyses d'ouvrages

nant le cas remarquable de la commission de météorologie agricole affiliée à l'Organisation météorologique internationale (OMI). L'OMI, qui est fondée dans les années 1870, est associée au CIR au lendemain de la première guerre mondiale et applique donc une politique d'exclusion à l'encontre des météorologues des anciens Empires centraux. Il faut en effet attendre le congrès international de météorologie de Zurich en 1926 pour que des scientifiques allemands et autrichiens réintègrent les instances de l'OMI. Giuditta Parolini s'intéresse plus spécifiquement à la commission de météorologie agricole de l'OMI, fondée en 1913, qui, du fait de la guerre, n'entre vraiment en activité qu'à partir de 1919. Elle est d'abord présidée par le physicien et météorologiste français Alfred Angot, puis par l'hydrographe et météorologiste suédois Axel Wallén. Les réflexions de cette commission portent en particulier sur le développement d'instruments météorologiques et l'amélioration des prédictions météorologiques en direction des agriculteurs. Giuditta Parolini montre d'une part que les activités de cette commission sont motivées par le souvenir de la famine ou des disettes occasionnées par la première guerre mondiale et par le constat d'une fragilité structurelle de l'agriculture à l'échelle européenne au lendemain de la guerre. Cette commission se caractérise par une coopération remarquable entre météorologues, agronomes, géographes et statisticiens, sachant que des savants allemands et autrichiens sont sollicités pour la rejoindre dès avant 1926.

Florian Laguens offre quant à lui une mise en contexte intéressante de la correspondance entre l'astronome britannique Arthur Stanley Eddington et son homologue suédois Elis Strömgren entre 1919 et 1922. Pacifiste convaincu, Eddington coordonne à l'issue du premier conflit mondial l'une des deux équipes britanniques visant à départager empiriquement les théories einsteinienne et newtonnienne de la gravitation lors de l'éclipse totale du Soleil du 29 mai 1919. Dès le début des années 1920, Eddington et Strömgren contribuent à une normalisation des relations scientifiques avec leurs homologues des anciens Empires centraux. Il convient de rappeler que l'union astronomique internationale (UAI) est fondée en 1919, elle est placée sous l'autorité du CIR et connaît sa première assemblée générale au début du mois de mai 1922 à Rome. Strömgren y participe tandis qu'Eddington est retenu à Londres pour les préparatifs du centenaire de la Royal Astronomical Society (fondée en 1820) qui a finalement lieu le 30 mai 1922. Créée sous l'impulsion des alliés, l'UAI intègre en son sein des représentants des pays neutres à partir de 1922, mais applique une politique d'exclusion à l'encontre des anciens Empires centraux contre laquelle Eddington et Strömgren entendent lutter.

L'article de Jonathan Voges prend pour objet d'étude la commission internationale de coopération intellectuelle (CICI) fondée en 1922 et placée sous l'égide de la Société des nations. Elle est présidée par le philosophe Henri Bergson de 1922 à 1925 puis par le physicien néerlandais Hendrik Antoon Lorentz jusqu'au décès de ce dernier en 1928 et enfin par le philologue britannique Gilbert Murray jusqu'en 1939. D'un côté, la CICI n'échappe pas aux dissensions et elle porte donc la marque des mécanismes d'exclusion visant les savants et intellectuels issus des anciens Empires centraux. De l'autre, elle ouvre la voie à de nouvelles formes de coopération intellectuelle et scientifique à l'échelle mondiale. Comme le souligne Jonathan Voges, la création de

la CICI n'est pas envisagée de manière purement désintéressée par la Société des nations en tant qu'institution transnationale : celle-ci cherche également à tirer profit de la réputation des scientifiques prestigieux qui y prennent part – à l'image de Marie Skłodowska-Curie ou encore d'Albert Einstein – et de l'exemplarité que représente l'internationalisme scientifique en termes de coopération internationale en général.

Comme le soulignent les éditeurs du présent numéro spécial dans leur introduction, les échanges scientifiques internationaux sont également façonnés au cours des années 1920 par la montée en puissance des États-Unis en tant que puissance intellectuelle et scientifique de tout premier plan. Au sein du CIR, les États-Unis jouent ainsi un rôle significatif dans le processus de normalisation des relations avec les scientifiques et les intellectuels des anciens Empires centraux. Les États-Unis contribuent également au financement de la recherche scientifique dans différentes nations européennes, dont l'Allemagne et l'Autriche, comme en atteste la fondation Rockefeller et, à un niveau bien plus modeste, la création en 1920 de l'Emergency Society for European Science and Art – rapidement rebaptisée Emergency Society for German and Austrian Science and Art –, sous l'impulsion de l'anthropologue américain d'origine allemande Franz Boas. La contribution de Brooke Penaloza-Patzak est entièrement consacrée à l'histoire de cette société philanthropique jusqu'à la cessation complète de ses activités en 1927. Les membres fondateurs de cette société basée à New York sont issus des sciences, de la finance et de la puissance publique états-unienne. Une partie significative d'entre eux faisait partie de la Germanistic Society, fondée en 1904 dans le but de faire progresser la connaissance de l'histoire de la culture allemande aux États-Unis. Du fait de sa composition et de l'existence parallèle d'organisations américaines destinées à aider d'autres nations européennes après la guerre, l'Emergency Society concentre son soutien financier en direction de savants et d'universitaires exerçant à Berlin, Munich et Vienne, essentiellement dans les domaines de l'ethnologie et des sciences biologiques. Brooke Penaloza-Patzak souligne toute la complexité de cette société philanthropique d'un point de vue idéologique : elle regroupe en effet des réformateurs libéraux, soucieux de justice sociale qui, dans le même temps, se montrent favorables à une forme de pangermanisme. Plusieurs facteurs expliquent pourquoi les activités de cette société ont périclité en 1926-1927, à commencer par le fait que l'Allemagne intègre la Société des nations en 1926, sachant que la situation économique et politique qui était critique en Allemagne et en Autriche au lendemain de la première guerre mondiale tend à s'améliorer.

À la différence des contributions précédemment mentionnées qui portent sur des structures ayant une vocation internationale ou transnationale, l'article d'Andrea von Hohenthal propose une étude comparée des développements de la psychologie en Grande-Bretagne et en Allemagne pendant et après la première guerre mondiale. Elle rappelle qu'avant le déclenchement de la guerre, la psychologie n'était reconnue comme une discipline académique ni en Allemagne – malgré l'aura dont bénéficiait par exemple le psychologue allemand Wilhelm Wundt – ni en Grande-Bretagne. Si un intérêt pour les applications pratiques de la psychologie commence à voir le jour à partir du début du xx^e siècle, les années de guerre se caractérisent par la mobilisation

Analyses d'ouvrages

des psychologues allemands et britanniques dans trois domaines : la psychiatrie militaire, l'industrie militaire et le diagnostic militaire – pour vérifier par exemple l'aptitude des recrues à servir dans l'armée de l'air alors naissante. La psychologie s'institutionnalise rapidement dans les universités allemandes à l'issue du conflit, ce qui n'est pas le cas en Grande-Bretagne. En dehors d'un cadre académique, trois cliniques accordent cependant outre-Manche une large place à la psychologie et à la psychanalyse à des fins thérapeutiques : le Maudsley Hospital (fondé en 1915), la Tavistock clinic (fondée en 1920) et le Cassel-Hospital (fondé en 1921). Les applications de la psychologie à la production industrielle connaissent également un essor significatif en Angleterre après la guerre, comme en témoigne la création du National Institute of Industrial Psychology en 1921. Par comparaison, l'expertise psychologique trouve davantage une issue en Allemagne du côté de l'armée. En effet, le traité de Versailles exige une restructuration et une réduction de l'armée allemande qui, pour ce faire, s'appuie sur des experts en psychologie ayant fait leurs preuves pendant la guerre.

Enfin, de manière beaucoup plus localisée, l'article de Matthias Berg s'intéresse à l'Académie bavaroise des sciences entre 1916 et 1924. D'un point de vue historiographique, la pertinence de cette contribution est double : d'une part, Matthias Berg souligne tout l'intérêt d'enquêtes consacrées à des académies scientifiques implantées en dehors des grandes capitales européennes ; d'autre part, il rappelle que Munich est alors traversée par toute une série d'événements politiques – grève des travailleurs en 1917-1918, République des conseils de Munich (d'inspiration communiste) entre avril et mai 1919 dans le cadre de la révolution allemande de 1918-1919, naissance du NSDAP dont l'un des premiers faits d'arme est le putsch de Munich en novembre 1923. Dans cette contribution, Matthias Berg propose un aperçu de l'histoire de l'académie bavaroise des sciences pendant la première guerre mondiale, puis il essaie de préciser la place qu'a occupée cette institution dans l'espace public munichois jusqu'au milieu des années 1920.

En conclusion et de manière plus globale, les volumes 68, 75 et 78 des *Acta historica Leopoldina* rassemblent des contributions majeures sur l'historiographie des sciences, des techniques et des technologies pendant la première guerre mondiale et durant les années 1920, bien au-delà donc d'une histoire des académies scientifiques. La richesse des domaines couverts et la diversité des méthodes employées selon les contributeurs et les contributrices permettent ainsi de restituer dans toute leur complexité les tensions entre les Alliés et les Empires centraux sur le terrain des sciences, des techniques et des institutions scientifiques.

Christophe ECKES

Lucie FABRY, Sophie ROUX (dir.), *Bachelardismes et anti-bachelardismes : Controverses épistémologiques des années 1960* (Paris : Classiques Garnier, 2025), 402 p., 150 × 220 mm, bibliogr., index nominum, table, coll. « Histoire et philosophie des sciences ».

Ce que les sciences humaines en France doivent à la philosophie de Gaston Bachelard (1884-1962) est tout sauf clair. Du côté des *science and technology studies* (STS), au moins depuis les années 1980, les maximes bachelardiennes ont souvent servi de repoussoir. Du côté de l'histoire et de la philosophie des sciences, l'appréciation est sans surprise plus positive mais aussi très allusive. On devrait en premier lieu à Bachelard d'avoir initié la fameuse triade de l'épistémologie historique, d'avoir en quelque sorte permis le déploiement de la philosophie de Canguilhem et plus encore celle de Foucault. Dans un cas comme dans l'autre, Bachelard n'est pas tant mobilisé pour lui-même mais plutôt pour ce qu'il est censé représenter, négativement ou positivement.

Le grand mérite de cet ouvrage collectif, actes partiels d'un colloque qui s'est tenu au printemps 2019 à Paris, est de plonger au cœur de cette opposition entre « bachelardismes » et « anti-bachelardismes » pour montrer comment, dès le décès de Bachelard, son héritage philosophique a pu donner lieu à des réceptions extrêmement contrastées. Celles-ci sont examinées successivement au sein de trois domaines : l'histoire des sciences et des techniques, le marxisme et la sociologie. Ce à quoi s'ajoute une dernière partie traitant spécifiquement de la question de l'imaginaire, en lien avec l'autre versant de l'œuvre de Bachelard, celle touchant à la poétique et non plus directement à l'épistémologie.

C'est le lot de toute entreprise collective que de donner lieu à des résultats inégaux. Ce livre ne déroge pas à la règle et, aussi bien par leur volume, leur accessibilité et leur intérêt, les neuf chapitres rassemblés ici n'ont pas tous la même valeur. Pour chacune des trois parties principales, il nous a semblé que les textes de Sophie Roux (sur l'histoire des sciences), d'Audrey Benoit (sur le marxisme) et de Lucie Fabry (sur la sociologie) sont ceux qui font saillir les questions les plus essentielles et qui proposent les interprétations les plus stimulantes. Afin de ne pas donner à cette recension une taille déraisonnable, nous nous concentrerons exclusivement sur ces trois chapitres dans les paragraphes qui suivent.

La première partie examine Bachelard là où on l'attendait, du côté de l'histoire des sciences. Encore que, comme cela est rappelé dans le livre, Bachelard n'a été que très modérément historien des sciences, un seul de ses nombreux ouvrages pouvant être rangé dans ce domaine. Dans un chapitre d'une exceptionnelle profondeur, Sophie Roux s'emploie à montrer comment le successeur de Bachelard à la Sorbonne, Georges Canguilhem, a significativement subverti la méthode dite de la récurrence que Bachelard avait énoncée (somme toute furtivement) au début des années 1950. À côté des introductions aux volumes des œuvres complètes de Canguilhem que Camille Limoges

Analyses d'ouvrages

a publiées depuis une dizaine d'années, il nous semble que ce texte, sobrement intitulé « L'historicité des sciences comme problème : Canguilhem », est appelé à devenir un des grands textes de l'historiographie canguilhémienne. Si l'attention bien plus soutenue à l'histoire de Canguilhem est une cause entendue, si son intérêt pour les sciences biomédicales ne pouvait pas ne pas retentir sur sa conception du progrès scientifique, on doit à cette étude de poser dans toute sa richesse un problème central chez lui, celui de l'historicité des sciences.

Ce problème est inexistant chez l'épistémologue Bachelard, pour qui la science s'institue par rupture avec les images du sens commun. Il est fondamental pour l'historien Canguilhem, pour qui il convient avant tout de comprendre comment on en est arrivé là alors que d'autres voies étaient possibles. Comme le rappelle Sophie Roux, entre les monstruosités (prises en charge par la psychanalyse) et les vérités (prises en charge par l'épistémologie), il ne reste quasiment rien à l'histoire chez Bachelard. Sous couvert de bachelardisme, c'est bien le problème de l'historicité des sciences qui travaille une bonne part des réflexions de Canguilhem, au moins depuis son texte sur la théorie cellulaire (1945). Canguilhem ne cesse de méditer sur la créativité de la science, sur la manière dont la nouveauté peut surgir dans l'histoire. On ne peut pas comprendre l'irruption du neuf si l'on réduit l'historicité de la science au dévoilement du vrai (internalisme), pas plus qu'on ne peut en rendre raison si l'historicité de la science n'est qu'un décalque d'autres historicités (externalisme). Comme il aimait à le répéter, le cours de l'histoire des sciences a sa viscosité propre. Ce chapitre lève une grande partie du mystère quant à ce qu'il pouvait vouloir dire par là.

Pour ce faire, Sophie Roux montre qu'à l'inverse de Bachelard, Canguilhem considérait avec beaucoup d'attention la profondeur du temps de l'histoire et que cette épaisseur irréductible était au premier chef la conséquence de décisions prises par les savants. Heureusement pour la science, ceux-ci n'ont pas toujours agi en hommes de science mais parfois en aventuriers, avançant ce que la raison pouvait laisser supposer. Pour Bachelard, la raison encadre absolument l'action. Pour Canguilhem, l'action déborde toujours les prescriptions de la raison, et c'est là la condition même du progrès scientifique. Comme la technique, la science, en tant tout cas la science en train de se faire, est une aventure de la vie (création de « normes normantes »), qui excède systématiquement les possibilités de rationalisation du moment (instauration ultérieure de « normes normées »). La raison ne vient qu'après coup réaliser son travail clarificateur, une fois que l'action aventureuse a ouvert des voies insoupçonnées.

Cette caractérisation, qu'il faut bien appeler magistrale, de la philosophie de l'histoire de Canguilhem, conduit Sophie Roux, dans la dernière partie de son texte, à examiner la proximité de celle-ci avec les thèses de son ami Jean Cavaillès. Sur bien des points, la doctrine de la liberté de Cavaillès semble effectivement rejoindre l'élan canguilhémien. Les hommages de Canguilhem au résistant trop tôt disparu porteraient également la trace de ce « problème commun », celui « de la création de vérités dans l'histoire ».

Ce que montre aussi ce chapitre, c'est qu'il y avait chez Canguilhem un authentique usage de Bachelard, dans le sens où son bachelardisme était également, et en l'occurrence assez nettement, un anti-bachelardisme, ce qui lui a permis de travailler un problème tout simplement invisible pour le philosophe de Bar-sur-Aube. C'est ce même type de travail que l'on retrouve chez Louis Althusser dans sa lecture bachelardienne de l'œuvre de Marx. Sa formule célèbre de la « coupure épistémologique » semble en faire un bachelardien évident, au moins durant la seconde moitié des années 1960. Audrey Benoit vient compliquer ce tableau. Dans son texte « L'histoire bachelardienne des sciences dans l'épistémologie de Louis Althusser », elle souligne qu'Althusser, lui aussi, altère les lignes de force du bachelardisme pour en faire quelque chose de neuf. Ceci permet à Althusser, en premier lieu, de déplacer l'épistémologie sur le terrain politique. La science s'ancre alors dans l'idéologie, qui n'est réductible ni au sens commun ni à une somme d'obstacles.

C'est bien par une coupure, un acte de la raison, qu'un domaine accède à la scientificité. Althusser crédite Marx d'un tel geste, ce qui revient à l'inscrire dans le sillage de la révolution scientifique. Pour autant, nous explique Audrey Benoit, cela ne revient pas à porter un regard positiviste sur l'histoire de l'économie, reproche souvent formulé à l'encontre d'Althusser. Marx n'a pas tant dévoilé un pan du réel qui jusque-là était demeuré caché, qu'il a produit un nouvel objet de connaissance, celui de « travailleur », ce qui à son tour a permis à l'économie de devenir politique. Pas plus que Lavoisier avec l'oxygène, Marx ne se situe du côté de la découverte. Le premier, il aura su comprendre comment ce qui était (déjà) connu devait dorénavant poser problème. Voilà, selon Althusser, ce qui méritait d'être désigné comme une coupure épistémologique.

Mais le bachelardisme d'Althusser ne s'arrête pas là : comme pour ce qui est de la science, on attend à bon droit de l'épistémologie qu'elle élabore elle-même son objet. Pour Althusser, la lecture qu'il propose de Marx n'est pas non plus la révélation d'un sens déjà là, qu'il suffirait de rendre plus explicite. Elle est « production de problèmes » plutôt que « réception de contenu », ce qu'il appelait lecture « symptomale ». Ce faisant, Althusser redoublait le geste bachelardien, et c'est aussi pour marquer cet écart, cette forme de radicalité, que probablement il préféra le terme « coupure » à celui de « rupture ». Comme chez Canguilhem, s'il y a une évidente filiation avec Bachelard, il y a également une mise au travail de sa philosophie qui n'a jamais été de l'ordre de la simple réception. C'est ici le projet d'une épistémologie politique qui a motivé cette réappropriation de « l'outillage conceptuel bachelardien ».

La théorie sociologique qu'ont voulu fonder Pierre Bourdieu et Jean-Claude Passeron offre une configuration un peu différente dans la mesure où cette fois-ci il y eut, dans un premier temps, un bachelardisme aussi fidèle que possible. Lucie Fabry présente le *Métier de sociologue* (1968) comme un cas de « bachelardisme orthodoxe », véritable manifeste bachelardien en sociologie où les catégories d'« obstacle », de « philosophie spontanée », de « sens commun », de « rupture épistémologique » de « phénoménoteknique », de « rationalisme appliqué » (entre autres) sont toutes employées de manière authentiquement bachelardienne. Passeron, plus que Bourdieu (en tout cas

Analyses d'ouvrages

selon sa lecture), a ensuite pris ses distances avec ce bachelardisme initial. Non pas que ce dernier ait laissé sa place à un anti-bachelardisme, mais, à compter de la fin des années 1970, Passeron a été plus attentif aux spécificités de la sociologie, à l'écart entre cette forme de science et la physique mathématique, et à l'obligation pour l'épistémologie de prendre en compte cet écart. En, bref, il s'est ouvert au pluralisme, sans pour autant renier son engagement bachelardien. Cela l'a amené, probablement contre Bourdieu, à bien signifier que la description épistémologique d'une science, quelle qu'elle soit, est irréductible à sa description sociologique.

Cela l'a conduit également à refuser toute forme de naturalisme consubstantiel de l'idée que la scientificité de la physique était un idéal à atteindre. Tout compte fait, selon Passeron, cela ne fait pas grand sens de se mettre à la recherche d'une « loi universelle de la gravitation sociale ». Sans jamais renoncer à la scientificité des sciences sociales, sans jamais nier la fécondité de la philosophie bachelardienne, d'autres outils devaient être mobilisés pour penser, en épistémologue, la manière dont les sciences sociales peuvent et doivent inaugurer leur propre régime de scientificité. « L'itinéraire épistémologique de Jean-Claude Passeron », pour reprendre la seconde moitié du titre de ce chapitre, se serait donc en quelque sorte conclu par un aveu d'échec : celui de l'impossibilité d'importer ou d'étendre l'épistémologie bachelardienne à la sociologie, et ce serait sur ce point en particulier que Bourdieu et Passeron auraient fini par diverger.

Les chapitres de Sophie Roux (sur Canguilhem), d'Audrey Benoit (sur Althusser) et de Lucie Fabry (sur Passeron) montrent ainsi tout à la fois la réalité de l'héritage bachelardien en France et les multiples appropriations de tout ou partie de sa philosophie des sciences dans des domaines qui lui étaient étrangers. Comme cela est indiqué dès l'introduction du volume, « bachelardisme » et « anti-bachelardisme », plutôt que deux camps bien distincts, désignent plutôt des attitudes philosophiques souvent présentes simultanément au sein de la même œuvre. On pourrait d'ailleurs, à partir de ce constat, formuler une question : s'il y eut à compter des années 1980 des anti-bachelardiens résolus et très bruyants, on ne trouve pas de trace, semble-t-il, de bachelardiens véritables. Peut-être, comme l'avait suggéré Jean Gayon¹, n'était-il pas si simple de transformer les intuitions et les formules polémiques de Bachelard dans les termes d'une philosophie des sciences rigoureuse et réellement opératoire ?

Qu'il nous soit permis de terminer sur un regret, celui de l'absence du cas de Bruno Latour et, au-delà, de l'essor des STS et de la sociologie de la connaissance. Si l'on se réfère au programme du colloque qui a donné naissance à ce livre, au moins deux présentations étaient dévolues à cette question. C'est probablement pour des raisons contingentes qu'on n'en trouve aucune trace dans cet ouvrage. On peut d'autant plus le regretter que cela aurait probablement montré comment l'héritage bachelardien pouvait non seulement être subverti mais aussi affaibli, permettant le déploiement d'un discours relativiste sur les sciences. La phénoménotechnique, rabaissée au rang de « fa-

1 - Jean Gayon, Victor Petit, *La Connaissance de la vie aujourd'hui* (Londres : ISTE, 2018), 39-43.

brique» des faits, aura alors pu légitimer les discours les plus irrationnels, qui malheureusement continuent d'avoir la vie dure.

Laurent LOISON

Frédéric LE BLAY, *La Fascination du volcan : Les mythes et la science* (Paris : Vrin, 2023), avec une nouvelle éd. et trad. du *Poème sur l'Etna*, 135 × 215 mm, 338 p., bibliogr., 4 index, table, coll. « L'histoire des sciences : Textes et études ».

Le volcan est-il un objet philosophique ? Question peut-être légèrement provocatrice, mais qui est posée finalement en filigranes à travers l'ouvrage de F. Le Blay de manière à la fois érudite et stimulante. Car le volcan, en particulier dans l'Antiquité, apparaît paradoxalement comme une « figure absente », un élément naturel difficile à appréhender par les Anciens. Et c'est ici que l'on trouve l'ouvrage d'Aristote, les *Météorologiques*, qui structurent de manière déroutante un champ de connaissances aussi foisonnant que difficile à délimiter. Comme le souligne d'emblée l'auteur, l'étude de la figure du volcan dans l'Antiquité tourne inmanquablement autour de l'Etna, modèle et parangon du volcan ou, plus exactement, de ces « montagnes de feu », qui n'étaient justement pas caractérisées comme des « volcans », terme forgé beaucoup plus récemment, en relation avec l'essor de la volcanologie moderne. Le livre propose donc une étude générale du « volcanisme » dans l'Antiquité, dans le sillage du colloque organisé par Éric Coulais qui avait posé des jalons précieux mais forcément partiels.

Cette plongée dans l'univers intellectuel des Anciens se décompose en trois parties, et, comme l'auteur l'explique, il s'organise autour d'une nouvelle traduction du poème *Ætna*, dont il rappelle à la fois les déficiences des anciennes traductions comme la relative relégation dont cette œuvre souffrit pendant longtemps. La première partie explore le « monde volcanique » par l'entremise du mythe, minutieusement analysé à travers des auteurs tels Platon ou Épicure, mais aussi les observations effectivement recueillies par les contemporains. Une remarque pertinente et réitérée à plusieurs reprises par l'auteur est l'aspect transculturel du volcan en tant que figure majeure de l'imaginaire tellurique, mais aussi objet de spéculations philosophiques, scientifiques et religieuses. Un des développements les plus intéressants est celui concernant la géomythologie, expression qui s'attache notamment à décrire les relations entre mythe et paysage. La deuxième partie porte plus spécialement sur le fait de savoir si le volcan est un « météore » ou non, au sens où pouvait l'entendre Aristote dans le traité éponyme. Classement évidemment étrange pour nous, puisque le volcan est *a priori* terrestre et non céleste, mais l'auteur s'attache justement à élucider de manière très fine l'édifice intellectuel proposée par le Stagyrite et les autres penseurs qui ont pu aborder la question de ces météores. La troisième partie, enfin, présente une nouvelle traduction du *Poème sur l'Etna*, en tant que matrice culturelle de première importance mais trop longtemps délaissée, voire méprisée.

La Fascination du volcan est en somme un ouvrage de fond très bien documenté et nourri de nombreux textes originaux cités et commentés sur un su-

Analyses d'ouvrages

jet qui reste encore trop peu exploré, mais qui rejoint des questions d'épistémologie générale, relatives tant aux sciences de la Terre qu'à l'histoire de l'imaginaire et à son anthropologie.

Brice GRUET

LI Shanlan, *Catégories analogues d'accumulations discrètes* / 垛積比類, ed., trans. and explained by Andrea Bréard (Paris: Les Belles Lettres, 2023), 125 × 190 mm, lxxxiv-404 p., glossary, biogr. index, bibliogr., table, series "Bibliothèque chinoise."

The "Bibliothèque chinoise" (漢文法譯書庫) series publishes a translation of an ancient Chinese mathematical text, entitled *Catégories analogues d'accumulations discrètes*. This marks the first time a Chinese mathematical treatise is included in this renowned series. The original author of the book is Li Shanlan (1811-1882), who was a great Chinese mathematician and translator of the 19th century. He taught at the Tongwen Guan (College of Translation) in Beijing and introduced English scientific works to China. Being a scholar representing a fusion of two scientific traditions, on one hand, Li inherited and expanded upon traditional Chinese mathematical methods; on the other hand, he deeply engaged with Western mathematical texts, and his reasoning methods and expressions were profoundly influenced by these works he has learned. The translator of Li's book, Andrea Bréard has been researching the history of mathematics in China for decades. Her attention to the problem of "mathematical series" in Chinese mathematical works began during her doctoral studies, making her translation and commentary on Li Shanlan's specialized work on summation of mathematical series both fitting and academically authoritative.

The book is primarily composed of five sections: an introduction, the translation, a mathematical commentary, some appendices, and a bibliography. In the introduction, the author introduces the academic background of Li Shanlan's era, from the scholarly legacy of the Qian-Jia School to the influence of Western mathematical works on traditional intellectuals. This influence is reflected in the changes in mathematical language and innovations in mathematics education at the time. Li Shanlan was initially influenced by traditional mathematics and to some extent supported the idea of "Chinese origins of Western knowledge." However, as he delved deeper into English mathematical texts, he gradually changed this viewpoint. For readers who are unfamiliar with the history of mathematics in China, the introduction is crucial. It guides readers gradually into the text being translated and annotated here: Li Shanlan's mathematical treatise *Duoji bilei* (*Catégories analogues d'accumulations discrètes* 垛積比類). In his preface, Li stated that through this work he sought to establish "discrete accumulation" as an independent branch of mathematics outside the traditional framework of *The Nine Chapters on Mathematical Procedures*.

The original text and its French translation occupy the largest portion of the book, spanning over 400 pages. The original Chinese text and its corresponding translation share identical page numbering, making it easy for readers to

cross-reference. Apart from a few footnotes, most of the translator's explanations and annotations regarding mathematical methods are concentrated in the second and third sections of the appendices, ensuring that the layout of the original text and translation remains uninterrupted.

Some readers might find the translation less engaging due to the repetitive nature of the content – a characteristic of the original text itself. However, those who actively follow the computations using tools like counting rods or paper and pencil to work out the polynomials presented by Li Shanlan will marvel at the complexity and ingenuity of his algorithms. They may even gain insight into his thought process of deriving algorithms through analogy (*bilei*). The translation part also includes correction of textual errors in the original, such as a misprint in the numerical table on p. 12, where 118,124 was rectified through meticulous calculation.

The third section of this book, which contains mathematical commentaries, reflects the translator's research expertise. In the main text of translation, Bréard added detailed headings to each "pile" and its associated tables, figures, and procedures, clearly outlining the structure of the original text. In the commentary, Bréard provides explanations for contents under each heading, either using modern mathematical symbols to represent formulas associated with the pile or further elucidating the composition of the pile.

When reading content expressed in modern symbols, readers might need to pay attention to their relationship with the original terminology. For instance, Li Shanlan's use of the Chinese term *ceng* (層, "layer") can refer to two directions in the numerical tables: horizontal or diagonal. Bréard points this out in a footnote on p. 3 of the translation. However, inconsistencies also arise in the symbolic representation of $C_{m,n}$. Sometimes, in the triangle table of numbers, m denotes horizontal lines, and n refers to the position from left to right (p. 201). At other times, m represents the number of layers in a pile multiplied n times (*une pile multipliée n fois*) (p. 203).

The book has meticulously redrawn all illustrations from the original text, enhancing their quality with grayscale shading to add depth. These drawings correspond precisely to the size and layout of the originals. Additional annotations and marks on the illustrations would be better to make them more intuitive, helping modern readers distinguish between different layers of a pile (e. g., the diagram on p. 15).

The appendices are divided into five sections, making them highly useful for readers. Not only do they aid in understanding this particular translation, but they also serve as a resource for those exploring the topic of discrete accumulation or the history of Qing Dynasty mathematics. The fourth and fifth sections of the appendices provide glossary and biographies respectively. The glossary explains key terms in the discrete accumulation and includes examples from the book. Some concepts could benefit from more detailed explanations. For instance, while terms like "square" (*carré* 方), "angle" (*angle* 隅), and "edge" (*arête* 廉) are accurately correlated to polynomial coefficients, the etymological and geometrical reasons for their use are not elaborated,

Analyses d'ouvrages

potentially leaving readers curious about the background. The biographical section includes brief profiles of over sixty mathematicians and translators, providing invaluable references for those who are interested in mathematics in late imperial China.

ZHOU Xiaohan 周霄漢 / Célestin

Paolo MANCOSU, Sergio GALVAN, Richard ZACH, *Introduction à la théorie de la démonstration : Élimination des coupures, normalisation et preuves de cohérence* (Paris : Vrin, 2022), trad. de Yacine Aggoune, David Appadourai et Agathe Rolland, révisée par David Waszek, 135 × 215 mm, 588 p., bibliogr., index, table, coll. « Mathesis ».

Cet ouvrage est une traduction d'une première version écrite en anglais, éditée en 2021. Comme son titre l'indique, le thème de l'ouvrage est la théorie de la démonstration, qu'il présente dans une perspective historique.

Le livre s'organise en neuf chapitres, que l'on peut diviser en deux grandes parties : une présentation des principaux systèmes de preuves et une présentation détaillée de la preuve de la cohérence de l'arithmétique en calcul des séquents. La première partie, composée des chapitres I à IV (le premier étant en réalité l'introduction), présente successivement trois systèmes de théorie de la démonstration : le calcul axiomatique (chap. II), la déduction naturelle (chap. III) et le calcul des séquents (chap. V). À ceux-là s'ajoutent deux chapitres consacrés à la présentation de la procédure de normalisation de la déduction naturelle (chap. IV) et du théorème d'élimination des coupures pour le calcul des séquents (chap. VI). La seconde partie consacre deux chapitres (chap. VII et IX) à la preuve de la cohérence de l'arithmétique, au milieu desquels un chapitre s'attache à présenter des notions de théorie des ensembles nécessaires à la preuve (chap. VIII).

L'*Introduction à la théorie de la démonstration* adopte un angle qui fait son originalité, celui de présenter les systèmes dans l'ordre de leur invention et de le faire avec un objectif, exposer la preuve de la cohérence de l'arithmétique donnée par Gentzen dans les années 1930. La qualité d'introduction de l'ouvrage est donc double : d'une part, la présentation, dans l'histoire de la logique et des mathématiques, des premiers moments de la théorie de la démonstration et, d'autre part, une exposition didactique de chacun de ces systèmes. En présentant dans le détail les raisons historiques et philosophiques qui ont amené Gentzen (et d'autres avec lui) à vouloir une preuve de la cohérence de l'arithmétique, les auteurs réussissent à contextualiser chaque moment des développements que l'on peut qualifier de techniques, c'est-à-dire le détail des systèmes et des preuves. Cette capacité que le livre a de tenir de front ces exigences techniques, philosophiques et historiques fonde sa grande qualité.

Il faut également ajouter que, si les systèmes qui sont le sujet du livre ont effectivement été développés par Gentzen dans les années 1930, la présentation que l'ouvrage en donne dépasse cette période historique pour intégrer

les travaux et résultats qui ont suivi (on pense par exemple aux preuves de la normalisation de la déduction naturelle). Le livre offre donc, en plus de son ancrage dans l'histoire de la discipline, une ouverture sur sa forme contemporaine, autant dans les détails techniques que dans un ensemble de développements les accompagnant. Il remplit en cela son objectif, assumé, de permettre d'appréhender chacun des systèmes de leur point de départ à des utilisations complexes de chacun. Il se place donc à ce titre entre des livres proposant des introductions beaucoup plus basiques et des manuels demandant un niveau de maîtrise déjà prononcé des systèmes. L'ouvrage est le premier, et de fait le seul, à proposer ce positionnement précieux et bienvenu.

L'ouvrage se distingue par la très grande précision et la qualité des preuves présentées au lecteur dans leurs détails. C'est notamment le cas d'une très grande série de démonstrations que l'on pourrait qualifier de « mineures » ou d'intermédiaires, qui, si elles n'ont pas la portée de la preuve de la cohérence de l'arithmétique qui occupe une partie de l'ouvrage, n'en sont pas moins des éléments essentiels d'une compréhension subtile des systèmes dont il est question. De fait, nous le disions, le lecteur profane sera en mesure d'acquérir une connaissance fine des différents systèmes de théorie de la démonstration présentés dans leur complexité et leurs subtilités. Cet apprentissage sera d'ailleurs facilité par un nombre important d'exemples et de mises en application des différents points abordés dans le livre.

Mais la grande rigueur de l'ouvrage a cet avantage que le lecteur familier des systèmes de théorie de la démonstration y trouvera également une mine d'informations précieuses, une partie des preuves présentées ici étant souvent omises dans l'enseignement de la discipline et dans la littérature en général, ouvrages traitant de la théorie de la démonstration inclus. Ces détails, et il est important d'insister sur ce point, font de ce livre une référence unique, d'une manière telle qu'on réalise à sa lecture à quel point le besoin auquel il répond était important.

Le cadre choisi pour l'ouvrage implique évidemment qu'il ne lui est pas possible de traiter toutes les ramifications de la théorie de la démonstration développées à la suite des systèmes originels qu'il introduit (on peut penser par exemple aux systèmes de logique linéaire ou aux systèmes de preuves pour la logique modale). Il ne faut voir là néanmoins aucune limitation de sa portée car le lecteur sera parfaitement armé pour poursuivre ses investigations vers ces autres branches de la théorie de la démonstration, d'autant que l'introduction du livre fournit une liste bibliographique d'ouvrages décrits comme plus avancés.

En définitive, s'il existe un grand nombre de livres consacrés à la théorie de la démonstration ou ayant vocation à introduire le sujet, le présent ouvrage, par l'originalité de son parti pris, sa qualité didactique et la précision et le nombre des démonstrations, est unique en son genre et, à ce titre, est amené à devenir une référence de la littérature sur le sujet.

On peut finalement louer sa traduction rapide, dont la qualité est au diapason de celle du livre, et dont les auteurs précisent qu'elle a permis de revenir

Analyses d'ouvrages

sur les quelques erreurs qui existaient dans la version originale. Le livre enrichit ainsi de manière bienvenue la littérature francophone sur le sujet qu'il serait exagéré de qualifier de foisonnante. C'est donc un ouvrage que l'on peut recommander tant au lecteur intéressé par le rôle de la théorie de la démonstration dans l'histoire des mathématiques et de la logique que par celui qui veut apprendre à maîtriser ces systèmes de preuves ou à en parfaire sa maîtrise.

Perceval PILLON

Roselyne REY, *Écrits d'histoire de la médecine et des sciences de la vie*, éd. et introd. par Anne-Lise Rey et Vincent Barras (Lausanne, Éditions BHMS, 2024), 140 × 225 mm, 352 p., 7 ill., bibliogr., index nominum, coll. « Bibliothèque d'histoire de la médecine et de la santé ».

Roselyne Rey, historienne de la médecine et des sciences de la vie, est décédée en 1996, après une trop brève carrière. Elle menait alors des recherches en prolongement de celles qu'avaient illustrées Georges Canguilhem d'une part, Jacques Roger et Mirko D. Grmek de l'autre. On lui doit deux ouvrages remarquables : *Histoire de la douleur* (Paris, Éditions La Découverte, 1993), et, de publication posthume, fruit de la thèse qu'elle avait soutenue en 1987, *Naissance et développement du vitalisme en France de la deuxième moitié du XVIII^e siècle à la fin du Premier Empire* (Oxford, Voltaire Foundation, 2000), que j'ai eu l'honneur de préfacer. À la lecture de cet ouvrage j'avais souhaité qu'il inspirât « à de jeunes chercheurs de relever le défi de prolonger une telle recherche, essentielle à l'épistémologie des sciences du vivant ». Dans ce même esprit, Anne-Lise Rey et Vincent Barras ont ici rassemblé 15 articles et conférences qui traduisent les méthodes d'analyse que Roselyne Rey a appliquées à divers objets en marge de son filon de recherche principal. Ce qui frappe le lecteur de ces textes aujourd'hui, ce sont l'originalité et la justesse du regard de l'historienne. Sur des œuvres plus ou moins connues, elle décèle les failles d'interprétations estimées acquises; elle révèle les gestes épistémologiques qui s'y manifestent et qui ont orienté le développement d'une discipline, d'une pratique, d'un savoir ou d'une croyance.

Écrit 1 : « Les relations entre savoirs et pratique ». Ce texte souligne la diversité des objets et la pluralité des méthodes appelées à intervenir dans une « histoire épistémologique de la médecine » (20) : celle-ci doit notamment prendre en compte l'histoire des mentalités et des sensibilités « au croisement du biologique, du culturel et du social » (28). L'histoire de la douleur sert ici de paradigme de l'approche plurielle que requiert la médecine traitée selon cette dynamique de développement.

Écrit 2 : « Anamorphoses d'Hippocrate au XVIII^e siècle ». L'évocation mythique d'Hippocrate comme garant des origines et des fondements d'une médecine moderne requiert d'être corrélée à la connaissance effective des écrits de la collection hippocratique, à l'usage déclinant de s'y référer et à la valorisation de certains aspects de la méthode plutôt que de la doctrine. À la fin de la

période considérée, l'hippocratismes cesse d'être une référence vivante, pour ne plus constituer qu'une diathèse historique de la médecine.

Écrit 3 : « L'animalité dans l'œuvre de Bernardin de Saint-Pierre : convenance, consonance et contraste ». Roselyne Rey nous invite à surmonter la vision traditionnelle d'une œuvre plus poétique que scientifique, à y découvrir une vision synthétique de l'organisation de la nature vivante dont il convenait de décoder les relations multiples suivant des principes spécifiques : ceux-ci reposent sur des schèmes de convenance appliqués aux animaux considérés en leur milieu et selon leur mode de vie. Les intuitions de l'imagination qui engendrent ces schèmes requièrent toutefois d'être contrôlés par l'observation sans cesse accrue des faits.

Écrit 4 : « Le cœur en représentation : étude des rapports entre texte et représentation dans quelques ouvrages scientifiques du XVIII^e siècle ». L'analyse savante de l'iconographie du système cardiaque à travers le siècle des Lumières révèle que s'y reflètent les présupposés théoriques et les tensions de la recherche affectant les travaux sur ce thème central de la physiologie des modernes.

Écrit 5 : « Buffon et le vitalisme ». Il s'agit là de l'étude fournie par Roselyne Rey aux colloques commémorant en 1988 le bicentenaire de la mort de Buffon. Elle montre que les principaux représentants du vitalisme en physiologie se sont nourris de thèses majeures de Buffon : ils ont ainsi tenté de surmonter les ambiguïtés d'une pensée qui évoquait, à la limite du mécanisme, les concepts de molécule organique et de moule intérieur, ainsi qu'un concept d'organisme reposant sur une distinction problématique du tout et de la partie.

Écrit 6 : « Littérature et médecine dans le "Voyage à Bourbonne-les-Bains en Champagne" ». Cette œuvre littéraire de Diderot est soumise à une analyse qui en retrace les référents médicaux et cerne les jugements qui s'y font jour sur la pratique médicale et le thermalisme.

Écrit 7 : « La partie, le tout et l'individu : science et philosophie dans l'œuvre de Charles Bonnet ». Cette remarquable étude nous montre Bonnet théoricien en quête d'une conception de l'organisme qui puisse rendre compte des observations paradoxales réalisées sur les « insectes » (au sens de ce terme au XVIII^e siècle), notamment sur le polype de Trembley. Ce concept, Bonnet le re-travaille constamment au fil de ses œuvres, préoccupé de signifier le rapport des éléments au tout de l'organisme réalisé et la raison suffisante d'une telle organisation fonctionnelle intégrée. « Ce fil d'Ariane, écrit Roselyne Rey, nous pensons qu'on peut le trouver dans la façon de penser la relation de la partie au tout, d'en éprouver les va-et-vient et les difficultés, et ceci sur le triple plan des sciences de la vie, des sciences psychologiques et de la philosophie de la connaissance » (151).

Écrit 8 : « Point de vue physiologique et point de vue pathologique dans l'œuvre de Bichat ». Ce texte exemplaire établit de façon probante que l'anatomie générale des systèmes tissulaires présuppose les principes d'une physiologie des propriétés vitales et des fonctions. Roselyne Rey en montre

Analyses d'ouvrages

l'élaboration au fil des recherches de Bichat. Corrélativement, la pathologie se trouve refaçonnée suivant les catégories physiologiques qui sous-tendent la typologie des systèmes. « L'*Anatomie générale*, déclare-t-elle, rompt de deux façons avec une pathologie qui en resterait au niveau de l'organe et l'isolerait : un phénomène morbide localisé est réintégré dans un "système" qui, lui, peut se trouver distribué dans tout l'organisme » (181).

Écrit 9 : « Diagnostic différentiel et espèces nosologiques : le cas de la phtisie pulmonaire de Morgagni à Bayle ». L'autrice démontre que les pratiques d'anatomie pathologique laissent subsister, chez Giovanni Battista Morgagni, de profondes ambiguïtés dans une définition de la phtisie qui procède à l'équivocation des signes et des causes. Dans un mémoire de 1783, Jean-Baptiste Timothée Baumes maintient une approche sémiologique des maladies pulmonaires; il tente cependant de les distinguer en espèces suivant leurs signes caractéristiques, mais il se heurte à l'absence de corrélation entre les signes cliniques sur le vivant et les lésions organiques sur le cadavre, et l'analyse chimique ne le mène à aucune identification d'agent pathogène. Gaspard-Laurent Bayle, dans ses *Recherches sur la phtisie pulmonaire* (1810), détermine de façon différentielle la diathèse tuberculeuse par la production de tubercules, mais il conserve une caractérisation synthétique des affections pulmonaires, par souci d'opérationnalisation clinique des pronostics associés à ces affections. « [Le caractère essentiel] repose sur la nature et le siège de la maladie, sur la lésion que l'anatomie pathologique constate; le caractère artificiel est fourni par les symptômes observés au lit du malade » (199). D'où l'inférence qu'à l'ère anatomoclinique des processus cognitifs de niveaux différents pouvaient être amenés à se chevaucher de manière fonctionnelle.

Écrit 10 : « La transmission du savoir médical ». L'organisation de l'enseignement médical au terme de la Révolution réservait une place d'importance à l'hygiène et plus particulièrement aux analyses anatomiques, physiologiques, anthropologiques (théorie des sensations, politiques de la santé, doctrine des tempéraments) relatives à la peau. L'analyse de la sensibilité s'y greffe, la peau constituant, selon Bichat, un lieu de transition graduée de la vie organique à la vie de relation et vice versa. Roselyne Rey établit que « la connaissance de la peau, sous toutes ses coutures, engage avec elle une science des rapports » (225) et illustre l'intégration des composantes du savoir médical au début du XIX^e siècle.

Écrit 11 : « Le vitalisme de Julien-Joseph Virey ». Opposant du matérialisme organiciste, Virey expose un vitalisme finaliste et providentialiste qui se transforme, au milieu du XIX^e siècle, en une philosophie dualiste : celle-ci professe à la fois l'existence d'une puissance organisatrice des vivants et celle d'un principe de type spirituel qui se révèle dans et par la nature humaine. La mise en lumière de la tension présumée de ces deux principes caractérise sans doute cette pensée autour de laquelle se sont cristallisées certaines philosophies biologiques de l'époque.

Écrit 12 : « La circulation des idées scientifiques entre la France et l'Allemagne : le cas Cuvier ». Il s'agit ici de prendre en compte les relations établies par Cuvier lors de ses études à l'Académie Caroline de Stuttgart et leur

prolongement dans les échanges qu'il a entretenus par la suite avec divers savants allemands. L'objectif est d'éclairer ainsi les attendus théoriques et méthodologiques qui ont orienté ses travaux d'anatomie comparée. Une attention particulière est accordée aux vues de Carl Friedrich Kielmeyer et à son discours de 1793, *Über die Verhältnisse der organischen Kräfte unter einander in der Reihe der verschiedenen Organisationen* : la corrélation des forces et des propriétés incarnées dans les divers êtres vivants détermine leurs rapports mutuels dans l'ordre d'ensemble de la nature. Roselyne Rey note avec justesse qu'intervenait là la propension à introduire « un point de vue physiologique, un point de vue fonctionnel dans l'histoire naturelle et dans l'étude de l'anatomie comparée » (258). Elle montre comment Cuvier argumente conséquemment à l'appui du principe des conditions d'existence et de la subordination des caractères et fonde la distinction des plans d'organisation correspondant aux différents embranchements de la taxonomie animale.

Écrit 13 : « Preuve et explication en physiologie : Brown-Séguard et l'étude du système nerveux ». Il s'agit ici aussi d'une étude remarquable axée sur les travaux de ce savant en physiologie et pathologie du système nerveux. Ainsi se trouve reconstitué, dans un contexte de recherches expérimentales conjuguées à des apports de recherche clinique, « la genèse du concept d'inhibition, sa fonction explicative et les difficultés qu'il a rencontrées » (270).

Écrit 14 : « René Leriche (1879-1955) : une œuvre controversée ». Le projet de Leriche de constituer la chirurgie en discipline scientifique et expérimentale est ici analysé dans ses conditions de formulation et d'accomplissement. Ce qui est principalement en cause dans ce projet c'était l'intervention chirurgicale opérée sur des régulations nerveuses organiques et sur des effets attribuables à la sensibilité viscérale et à la cénesthésie. Cette impressionnante étude se rattachait aux analyses que Roselyne Rey consacrait dans la même période à l'histoire de la douleur.

Écrit 15 : « Diderot et les sciences de la vie dans l'*Encyclopédie* ». Les éditeurs ont eu raison de placer ce texte en conclusion du recueil, car il aborde, à travers les questions biologiques qui ont retenu l'attention de Diderot, maître d'œuvre de l'*Encyclopédie*, les thèmes principaux des réflexions de Roselyne Rey épistémologue : définir l'animalité à partir des phénomènes de la sensibilité, cerner « [le] passage insensible, par gradation et par nuance, de l'inanimé et peut-être du brut et du mort, au vivant » (310), saisir l'imbrication incontournable des savoirs relatifs aux vivants en leurs dimensions tant théoriques que pratiques, analyser les formes multiples d'intégration des éléments organiques aux organismes, êtres individualisés et dynamiques.

L'édition de ces textes est accompagnée de la liste des parutions originelles, d'une très imposante bibliographie et d'un index des noms de personnes.

François DUCHESNEAU

NORMES DE PRÉSENTATION DES ARTICLES SOUMIS À LA REVUE POUR PUBLICATION

Envoyer l'article à la rédaction sous la forme d'un fichier, accompagné d'une version pdf anonymisée, à l'adresse électronique : contact-rhs@ens.fr. L'article doit être accompagné d'un résumé en français suivi de mots-clés et de la traduction du résumé et des mots-clés en anglais. Ne pourront être soumis à la procédure d'expertise en double aveugle que des articles proposés pour publication à la *Revue d'histoire des sciences* qui ont été soigneusement rédigés, relus et présentés.

Longueur maximum : 70 000 signes, espaces et notes incluses. Saisir le texte en Times New Roman, corps 12, interligne 1,5. Indiquer vos nom, prénom, adresse professionnelle complète (ou privée pour les retraités) et adresse électronique sur une page initiale ne comportant que cela. Expliciter toutes les abréviations lors de leur première mention ou dans une liste placée en début d'article. Indiquer les prénoms entiers de toutes les personnes citées (savants, historiens, chercheurs...), lors de leur première mention. Ensuite on pourra les désigner par leur seul nom de famille. Indiquer, entre parenthèses, les dates de naissance et de décès de ces personnes chaque fois que cela est pertinent.

NOTES

Les créer et numéroté à l'aide de la fonction « insertion automatique » de son traitement de texte et les placer en bas de page. Longueur maximum de l'ensemble des notes : de l'ordre du quart de l'article. Forme de l'appel de note :

- dans la « zone titre » : *, **, ***, etc.
- dans la suite de l'article : chiffre arabe en exposant (exemple : cet article ⁴...); devant la note elle-même, chiffre arabe suivi d'un tiret (exemple : 4 - Article publié dans...). Numérotation en continu, à partir de 1, jusqu'à la fin de l'article.

Chaque note doit se rapporter à un endroit précis du texte : la *Revue* n'accepte pas les notes concernant tout un paragraphe ou un ensemble de paragraphes.

CITATIONS

Elles seront placées entre guillemets mais composées en italique seulement si la langue diffère de celle du texte courant de l'article. Indiquer en note la référence bibliographique complète (avec mention de la page) de la source. S'il s'agit d'une traduction du texte original, le préciser et indiquer la langue d'origine et la source (auteur de l'article ou référence bibliographique précise de la traduction – de référence, de préférence – citée). Fournir le texte original en note éventuellement.

FIGURES

Ne pouvant être imprimées en quadrichromie, les figures et illustrations doivent nous être fournies en noir et blanc. Elles nous seront envoyées dans un format image (pdf, jpeg, tiff, etc.) en haute définition. Dans le corps du texte, indiquer entre parenthèses ou crochets les endroits où celles-ci doivent être insérées. Transmettre les figures et illustrations ainsi que leurs légendes dans des fichiers distincts de celui contenant le texte de l'article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Elles doivent obligatoirement être placées en notes. Elles doivent être complètes et exactes. Indiquer les prénoms des auteurs en entier. En règle générale, on n'utilisera pas l'abréviation « p. » pour « page » (écrire « 16-32 » pour « pages 16 à 32 ») sauf quand son absence pourrait être source de confusion comme dans certaines références complexes (cf. *infra*).

Ouvrages

Mirko D. Grmek, *Le Legs de Claude Bernard* (Paris : Fayard, 1997). (*Les mentions du lieu d'édition, de l'éditeur et de l'année de parution sont obligatoires, sauf pour les ouvrages antérieurs au ^{xx}e siècle, pour lesquels on pourra se dispenser de celle de l'éditeur uniquement.*)

Articles

Pascal Descamps, La découverte de Neptune : Entre triomphe et camouflet, *Revue d'histoire des sciences*, 68/1 (2015), 47-79. (*Pour : tome 68, n° 1, année 2015, pages 47-79; pas de guillemets au titre de l'article.*)

Contribution à un ouvrage collectif

Enrico Giusti, Images du continu, in *The Leibniz-Renaissance : International Workshop*, Firenze, 2-5 giugno 1986 (Florence : Olschki, 1989), 83-97.

Thèses inédites et manuscrits

Seguin Aîné, « Mémoire du pont de Tournon-Tain », ms. du 30 novembre 1822 (Arch. dép. de l'Ar-dèche, fonds Seguin, pièce 27).

Javier Echeverria, « La Caractéristique géométrique de Leibniz en 1679 », thèse de doctorat d'État (univ. Paris I, 1980).

Références bibliographiques complexes

Utiliser systématiquement les abréviations conventionnelles : sér. (série), t. (tome), vol. (volume), fasc. (fascicule), chap. (chapitre), p. (page), etc.

Leonhard Euler, *Leonhardi Euleri opera omnia* (Bâle-Boston-Stuttgart : Birkhäuser), sér. 2, vol. 24, part. II (1987), p. 37

Correspondance, manuscrits, périodiques, livres sont à adresser à la rédaction :

Revue d'histoire des sciences – CAPHÉS (UAR 3610, CNRS – ENS-PSL) – 45, rue d'Ulm – 75005 Paris – France. Tél. : +33(0)1 44 32 26 59. Email : contact-rhs@ens.fr

Les articles soumis à la Revue pour publication devront être présentés conformément aux normes décrites *supra*.

Tout article proposé pour publication à la *Revue d'histoire des sciences* est soumis à une procédure d'expertise en double aveugle. Après examen par le comité de rédaction, les auteurs recevront une réponse dans un délai de trois mois environ après réception du manuscrit. L'accord de publication pourra être assorti d'une demande de modifications sur le fond, la forme ou la présentation. Les articles acceptés seront publiés dans un délai variable selon les possibilités de la Revue. Les auteurs recevront un exemplaire papier du numéro de la revue et le tiré à part électronique de leur contribution.

LA REVUE D'HISTOIRE DES SCIENCES ET LES ARCHIVES OUVERTES

L'auteur peut à tout moment déposer dans des archives ouvertes institutionnelles la version *pre-print* de sa contribution, à savoir la version du manuscrit avant son évaluation éditoriale. La version *postprint* de la contribution peut, quant à elle, y être archivée à l'issue d'une période de douze mois après la publication par la maison d'édition de la version PDF de l'article. La reproduction de l'article par fichier PDF de la maison d'édition dans des archives ouvertes est interdite. Les auteurs conservent le droit de reproduire ou de représenter cette version *postprint* dans le cadre de leurs activités, non commerciales, de recherche et/ou d'enseignement. Ils peuvent communiquer cette version lors de colloques, congrès et journées de formation auxquels ils participent. En cas de publication, ils doivent se rapprocher de l'éditeur pour obtenir son accord.

Tarifs d'abonnement 2025 TTC (offre valable jusqu'au 31 décembre 2025)

	France	Étranger (hors UE)
Particuliers	<input type="checkbox"/> 75 EUR	<input type="checkbox"/> 90 EUR
Institutions	<input type="checkbox"/> 140 EUR	<input type="checkbox"/> 180 EUR
Adhérents / Étudiants (sur justificatif)	<input type="checkbox"/> 55 EUR	<input type="checkbox"/> 55 EUR

Chaque abonnement donne droit à la livraison des 2 numéros annuels de la revue et à l'accès en ligne aux articles en texte intégral aux conditions prévues par l'accord de licence disponible sur le site www.revue.armand-colin.com.

Prix au fascicule : 45 EUR

Abonnement et vente au numéro de la *Revue d'histoire des sciences*

Dunond Éditeur, Revues Armand Colin – 11, rue Paul Bert – CS 30024 – 92247 Malakoff cedex
Tél. (indigo) : 0 820 800 500 – Étranger : +33 (0)1 41 23 60 00 – Fax : +33 (0)1 41 23 67 35
Mail : revues@armand-colin.com

Vente aux libraires

U. P. Diffusion / D. G. Sc. H. – 11, rue Paul Bert – CS 30024 – 92247 Malakoff cedex – Tél. 01 41 23 67 18 – Fax : 01 41 23 67 30