



HAL
open science

4686, ou comment lire l'image scientifique

Charlotte Bigg

► **To cite this version:**

Charlotte Bigg. 4686, ou comment lire l'image scientifique. Emmanuel Alloa. Penser l'image III. Comment lire les images?, Les Presses du réel, pp.283-307, 2017, Perceptions, 978-2-84066-558-8. hal-03737245

HAL Id: hal-03737245

<https://hal.science/hal-03737245v1>

Submitted on 1 Aug 2022

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

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

Si elles ne manquent certainement pas de visibilité, les images contemporaines souffrent par contre d'un défaut de lisibilité. Suralphabétisés que nous sommes, nous sommes encore imparfaitement préparés pour déchiffrer les nouvelles réalités visuelles qui déterminent pourtant nos vies, plus que jamais. Comment réarmer le regard et faire de la lecture un outil critique du présent ? Regards croisés (histoire de l'art, philosophie, photographie, cinéma, architecture, histoire des sciences...) sur les formes hétérogènes que peut prendre le discours des images. Avec incidemment, un retour sur la notion même de lecture qui, au contact des images, vient toucher à sa propre limite. Comment lire donc, au risque de l'illisibilité ?

Sous la direction d'Emmanuel Alloa

Avec des textes de Mieke Bal, James Elkins, Carlo Ginzburg, Max Imdahl, Peter Geimer, Martin Jay, Eyal Weizman, Emmanuel Alloa, Charlotte Bigg, Peter Szendy, Giorgio Agamben, Philippe-Alain Michaud, Jacques Rancière, Georges Didi-Huberman.

Emmanuel Alloa est maître de conférences en philosophie à l'Université de Sankt Gallen, Senior Research Fellow au Pôle national suisse de Critique de l'image (Eikones) et enseigne l'esthétique au Département d'arts plastiques de Paris 8.

ISBN 978-2-84066-558-8



9 782840 665588

€

Collection « Perceptions »

www.lespressesdureel.com

Penser l'image III (Emmanuel Alloa, éd.)

les presses du réel

Penser l'image III *Comment lire les images ?*

Emmanuel Alloa (éd.)

les presses du réel

TABLE DES MATIÈRES

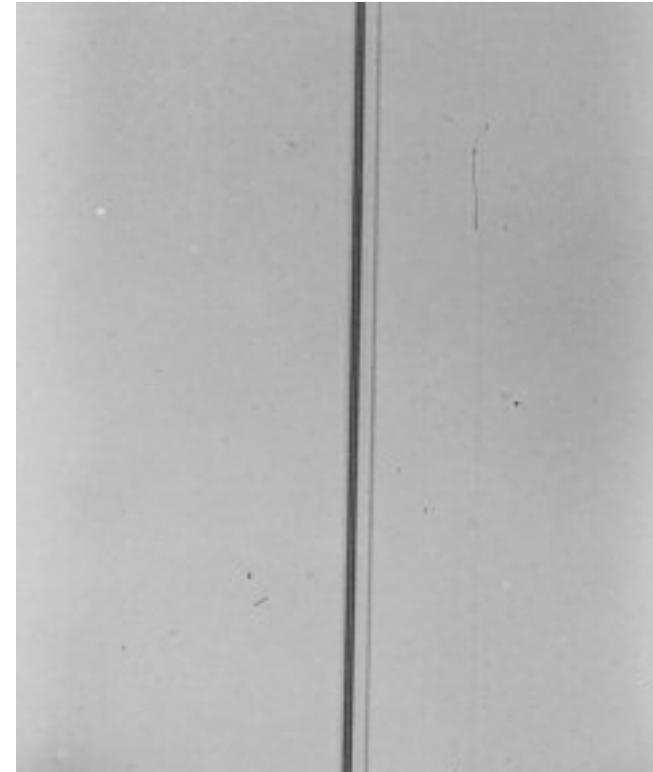
Emmanuel ALLOA, <i>Comment (ne pas) lire les images ? Une introduction</i>	5	La parole muette	325
		Giorgio AGAMBEN, <i>Image et silence</i>	327
		Philippe-Alain MICHAUD, <i>La parole silencieuse du corps. Sur quelques dessins, dont un d'Alighiero e Boetti</i>	333
Lisibilité des images ? Un débat	41	Lector in imago	349
Mieke BAL, <i>Lire l'art ?</i>	43	Jacques RANCIÈRE, <i>Image relues : la méthode de Didi-Huberman</i>	351
James ELKINS, <i>Marques, traits, splendeurs. Pourquoi la peinture résiste à la sémiotique</i>	75	Georges DIDI-HUBERMAN, <i>Lire, encore et toujours, ce qui n'a jamais été écrit</i>	369
De l'iconologie à l'iconique	117	Auteurs	393
Carlo GINZBURG, <i>Ekphrasis et Connoisseurship</i>	119		
Max IMDAHL, <i>L'Iconique. Une science des images et de leur évidence</i>	145	Liste des légendes	401
Indices ou Comment (ne pas) lire la photographie	171		
Martin JAY, <i>Que peut-on faire dire à une image ? Du mensonge en photographie</i>	173		
Peter GEIMER, <i>Qu'est-ce qui ne fait pas image ? Troubles dans la référence</i>	197		
Guerre(s) des images	229		
Eyal WEIZMAN, <i>L'image en conflit. La violence au seuil de sa détectabilité</i>	231		
Emmanuel ALLOA, « <i>Just Terror</i> ». <i>La communication visuelle de Daech</i>	257		
Image scientifique, image cinématique. Les ordres du discours visuel	281		
Charlotte BIGG, <i>4686 ou Comment lire l'image scientifique</i>	283		
Peter SZENDY, <i>L'archicinéma ou les phrasés du regard</i>	309		

IMAGE SCIENTIFIQUE,
IMAGE CINÉMATIQUE.

LES ORDRES DU DISCOURS
VISUEL

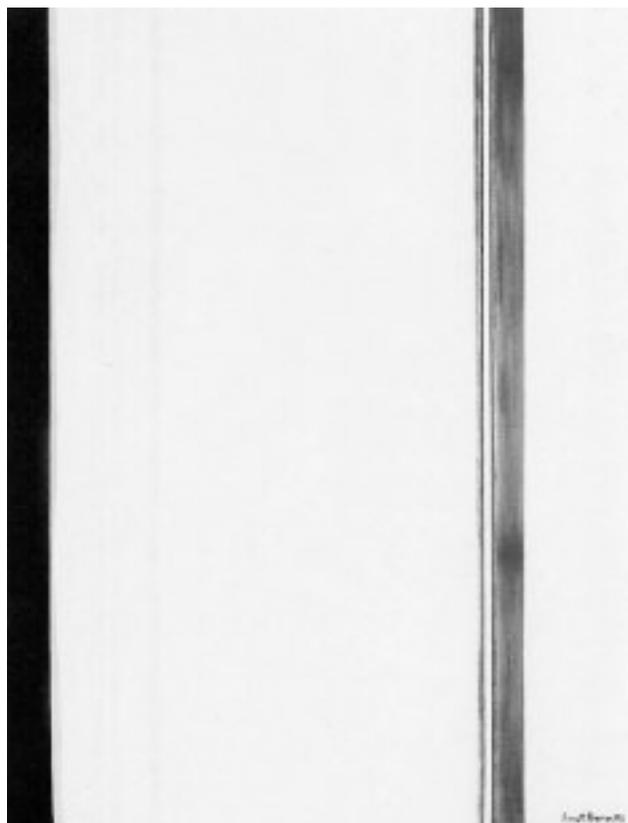
4686, ou comment lire l'image scientifique

Charlotte Bigg*



* Je remercie Wilhelm Fühl, historien et directeur des archives du Deutsches Museum, interlocuteur attentif sans qui ce texte n'aurait pas vu le jour, ainsi qu'Emmanuel Alloa pour son suivi éclairé et bienveillant tout au long de sa préparation.

Une surface opaque, sans profondeur, variant imperceptiblement du gris clair au gris foncé. On distingue à sa surface quelques salissures et surtout des striures parallèles, lignes dynamiques la parcourant de bout en bout : l'une double, noire et épaisse, l'autre plus fine et plus pâle. Trajectoires, ombres ou rayures ? Traces ou tracés ? Accident ou inscription ? Même l'orientation est incertaine. À bien la regarder, on la prendrait pour le miroir, potentiellement ironique, d'une œuvre de l'expressionnisme abstrait [fig. 2] ; à moins que ce ne soit l'inverse.



2. Barnett Newman, *Stations of the Cross : Lema Sabachtani, Second station of the Cross*, 1958.

Qu'est-ce que la figure 1 et comment la lire ? Élargissons la focale et restituons-lui un peu de son épaisseur.

Il y a longtemps de cela, un peu par hasard, un bout de papier à peine plus grand qu'un timbre m'est tombé des mains alors que j'ouvrais l'une des lettres que le physicien expérimentaliste de Tübingen Friedrich Paschen écrivait régulièrement, en 1916, à son collègue théoricien de Munich, Arnold Sommerfeld. Une photographie, un spectre, écrit Paschen dans sa lettre. Mais encore ?

Il n'y a pas d'image scientifique

C'est la figure 1, et ses cousines, qui regrettamment mais irrémédiablement coloreront ces quelques réflexions sur l'image scientifique et ses lectures. Celle-ci fait depuis quelque temps l'objet d'un intérêt croissant. Le premier constat à faire à l'attention de ceux qui chercheraient à cerner son essence, à dévoiler une ontologie cachée, c'est qu'il ne peut y avoir *une* théorie de l'image scientifique, comme il n'y a pas *une* image scientifique (ni *une* science, d'ailleurs). La diversité des supports, des modes de représentation, des objets, des lectures est bien trop importante ; ce qui n'empêche pas, au contraire, l'étude fine de *corpus* précis et leur mise en relation, par exemple du rapport entre cartographies terrestres et anatomiques à la Renaissance¹. Les images scientifiques sont un ensemble hétérogène à tous points de vue et toute généralisation à leur sujet souffrira de nombreuses exceptions.

L'image scientifique est plurielle à un autre titre : elle est rarement singulière. La lettre de Paschen fait mention de plusieurs spectres envoyés en même temps. D'autres seront envoyés plus tard. L'image scientifique, comme d'autres images, est souvent sérielle². Qu'il s'agisse d'esquisses archéologiques, de photographies expérimentales,

1 Rafael Mandressi, « Livres du corps et livres du monde : chirurgiens, cartographes et imprimeurs, XV^e-XVI^e siècle », in Christine Bénévent, Isabelle Diu et Chiara Lastraioli (dir.), *Gens du livre et gens de lettres à la Renaissance*, Turnhout, Brepols, 2014, p. 209-230.

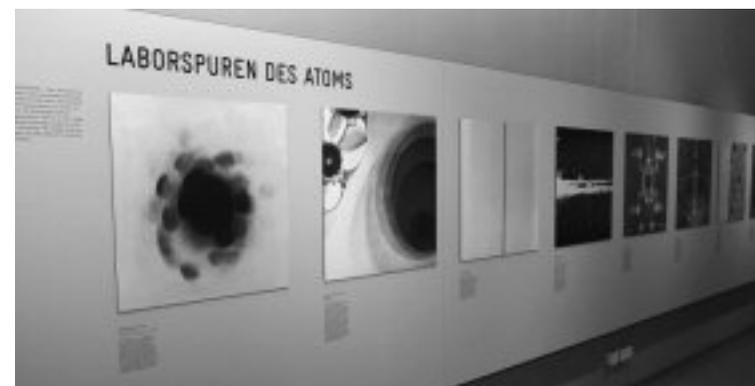
2 Sur les implications épistémologiques de la sérialité des images, voir par exemple pour le cas des représentations visuelles de l'embryologie, Janina Wellmann, *Die Form des Werdens : Eine Kulturgeschichte der Embryologie, 1760-1830*, Göttingen, Wallstein, 2010.

tales ou de simulations numériques, elle appartient à une famille dont on sélectionnera un ou plusieurs représentants pour les exhiber. Reproduits, projetés, exposés, enseignés, ceux-ci, et donc leurs lectures, se multiplient à l'infini³.

Pire : l'image scientifique n'est parfois (souvent) pas une image du tout. Particulièrement lorsqu'elle n'est pas ou peu figurative, lorsqu'elle est trace instrumentale, ou encore graphique, tableau, par exemple⁴.

Lorsque, bien plus tard, je suis retournée voir la lettre de Paschen dans les archives du grand musée au milieu de l'Isar, le spectre avait disparu. Il avait rejoint la banque d'images de l'autre côté de la salle, conservé conformément aux normes, dans une pochette semi-transparente en papier non acide. Entre-temps, j'avais attiré l'attention sur lui, l'ayant fait reproduire, imprimer en grand format et accrocher à côté d'autres reproductions de photographies expérimentales [fig. 3⁵]. Par cette opération, près d'un siècle après sa fabrication, le spectre de Paschen avait officiellement acquis le statut d'image — un peu (et toutes proportions gardées) comme une œuvre sacrée devient artistique lorsqu'elle intègre le musée.

Mis à part ce genre d'opérations, lorsque par exemple une nouvelle technique instrumentale est mise au point et une visualisation en devient l'icône (photogramme de la radioactivité de Becquerel, diffraction à rayons X, premiers nanopaysages de la microscopie électronique...), il faut bien avouer qu'on ne parle pas de ces objets comme des images, ou alors dans le sens le plus faible qui soit. Paschen se réfère à la figure 1 et à ses consœurs indifféremment comme des images ou des spectres (*Gleichstrombild*, *Gleichstrom-Spectrum*), voire plus rarement des clichés (*Aufnahme*), sans s'attarder sur ces termes (c'est à nous que revient la tâche d'élucider par quels moyens,



3. *Atombilder*, exposition dans le département de la photographie du Deutsches Museum, Munich, 2007-2008.

dans les contextes scientifiques, le *cliché* photographique prend force de *cliché* culturel, stéréotype ou icône, justement]. À l'inverse, « pretty pictures » est le terme condescendant utilisé par les scientifiques pour parler des images qu'ils affichent dans les couloirs de leurs instituts et en couverture de leurs dossiers de demande de financement, mais en aucun cas dans leurs publications scientifiques. Non pas que toute considération esthétique leur soit étrangère, mais le terme d'image convoque fréquemment chez eux des associations qui, appliquées à leur travail, en dévalueraient l'importance scientifique⁶. Cela n'a pas toujours été le cas, puisqu'une solide formation artistique a longtemps été requise pour l'étude de la nature. L'antagonisme perçu aujourd'hui entre les arts et les sciences est finalement assez récent⁷.

3 Sur l'émergence conjointe des périodiques et des sciences, voir Geoffrey Cantor, Gowan Dawson, Graeme Gooday, Richard Noakes, Sally Shuttleworth, Jonathan R. Topham (dir.), *Science in the Nineteenth-Century Periodical. Reading the Magazine of Nature*, Cambridge, Cambridge University Press, 2004.

4 Cf. Elkins, *Six Stories from the End of Representation*, Stanford, Stanford University Press, 2008 ; Kelley Wilder, *Photography and Science*, Londres, Reaktion Books, 2009.

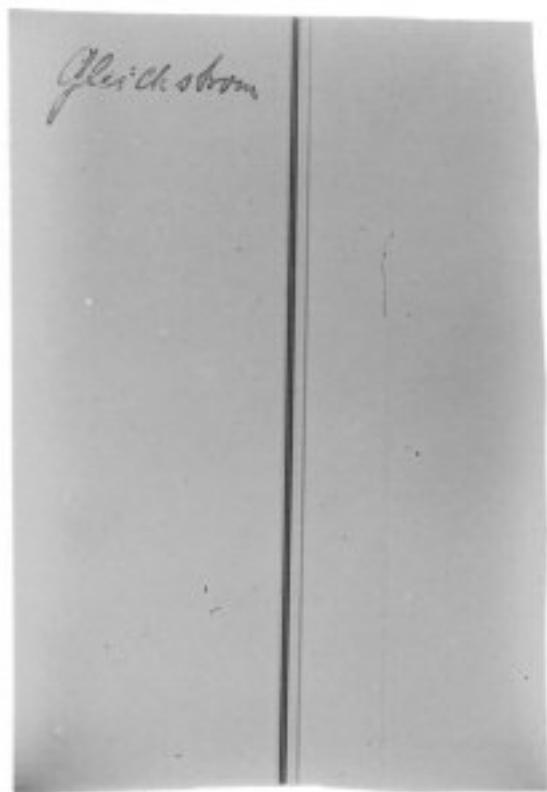
5 Exposition dirigée avec Jochen Hennig avec le soutien de Cornelia Kemp.

6 Michael Lynch et Samuel Y. Edgerton Jr., « Abstract Painting and Astronomical Image Processing » in Alfred I. Tauber (dir.), *The Elusive Synthesis: Aesthetics and Science*, Dordrecht, Springer, 1997, p. 103-124 ; Elizabeth Kessler, *Picturing the Cosmos. Hubble Space Telescope Images and the Astronomical Sublime*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 2012.

7 Cf. par exemple pour le début du XIX^e siècle, Erna Fiorentini, *Observing Nature – Representing Experience. The Osmotic Dynamics of Romanticism 1800-1850*, Berlin, Reimer Verlag, 2007.

« Gleichstrom », ou le contexte de l'image

Une visualisation scientifique est ainsi une image *ou non* selon la perspective et le contexte dans lequel elle est perçue. Plus généralement, elle n'est pas faite pour être interprétée indépendamment de son contexte, c'est-à-dire, le plus souvent, du texte qui l'accompagne (il est ainsi tout à fait absurde, quoique légitime du point de vue de la conservation, de ranger le spectre de Paschen aussi loin de la lettre qui le contenait). Ce contexte comprend également les lieux de sa fabrication, de ses lectures, les instruments matériels et théoriques avec lesquels elle interagit.



4. 4686 (Gleichstrom)

La mention « Gleichstrom » [fig. 4] est une indication essentielle et sans laquelle ni Sommerfeld, ni aucun lecteur ultérieur ne pourra faire sens du spectre, en tout cas du sens que Paschen lui donne. Cette inscription renvoie à l'explication de Paschen dans la lettre, qui elle-même se réfère implicitement à toute une série de travaux précédents.

En 1916, au milieu de la guerre, et dans des conditions difficiles, tous ses assistants ayant disparu ou été réquisitionnés et la pénurie de matériel se faisant sentir, Paschen poursuit obstinément ses expériences pour tester les hypothèses de Sommerfeld sur la structure de l'atome et qui mèneront, cette année-là, à un raffinement de l'atome « planétaire » proposé par Niels Bohr qui prend en compte la théorie de la relativité d'Albert Einstein. Dans ces échanges, c'est l'incertitude qui règne, et les deux hommes s'efforcent de résoudre les désaccords entre les propositions de Sommerfeld et les mesures de Paschen en modifiant tour à tour la théorie ou le montage expérimental pour mieux en identifier les sources d'erreur et d'approximation. La lettre nous dit que la figure 1 est un agrandissement d'une photographie de « 4686 ».

En élargissant encore la focale, pour prendre en compte plus d'acteurs, de correspondances, de publications, on apprend que « 4686 » désigne la longueur d'onde en Ångströms d'une ligne de ce qui s'était avéré être de l'hélium ionisé, ligne célèbre s'il en était et dont les spectroscopistes débattaient depuis quelques années. On peut dire que la théorie quantique de l'atome dépendait de l'identification de cette ligne et de l'étude de ses satellites. Paschen focalise l'attention de son correspondant sur l'épaisseur et l'intensité de la double ligne et surtout sur la ligne plus fine ainsi que sur la distance qui les sépare⁸. Le « bel accord » que Paschen avait fini par trouver au printemps 1916 entre ses mesures et la prédiction de Sommerfeld sur la « structure fine » des lignes spectrales contribuerait à conforter à la fois la théorie de Bohr et celle d'Einstein⁹; même si par la suite on reprochera aux deux hommes d'avoir excessivement bricolé la théorie

⁸ Lettre de Friedrich Paschen à Arnold Sommerfeld datée du 5 juin 1916. Archives du Deutsches Museum, HS 1977-28/A 253.

⁹ Helge Kragh, *Quantum Generations. A History of Physics in the Twentieth Century*, Princeton, Princeton University Press, 2002, p. 163-164.

et les expériences pour obtenir une trop belle concordance et qu'il faudra trouver une autre explication à la structure en lignes fines du spectre de l'hélium ionisé¹⁰.

Bien sûr, il est parfaitement possible d'abstraire de tout ceci et de voir, par exemple, la figure 1 comme l'expression d'une esthétique moderniste. C'est d'ailleurs ce que nombre d'artistes firent avec des photographies scientifiques à cette époque (phénomène dont l'exposition de 2007 s'est fait l'écho, notamment en supprimant l'inscription « Gleichstrom », cf. fig. 1). C'est ce que les collectionneurs aujourd'hui font de nouveau, offrant récemment pas moins de vingt mille euros pour un tirage d'époque d'une photographie d'Henri Becquerel intitulé « déviabilité des rayons secondaires produits par le rayonnement bêta¹¹ ».

Cette décontextualisation apparente masque finalement une autre contextualisation, une autre modalité de lecture, c'est-à-dire le choix d'un corpus différent pour guider l'interprétation.¹² Parce qu'elles se situent en marge ou carrément en dehors des canons iconographiques, traditionnellement artistiques, les images scientifiques peuvent déstabiliser les théories de l'image et de sa lecture.

L'image scientifique est un objet

La lettre de Paschen indique que ce spectre était accompagné de l'agrandissement d'une photographie de la même ligne produite, non pas avec du courant continu (*Gleichstrom*) mais à l'aide d'une étincelle, produisant un résultat sensiblement différent. Paschen indique que le premier spectre est désormais connu avec certitude, les précédents ayant probablement été une combinaison des deux (c'est

peut-être la raison pour laquelle seul le spectre « Gleichstrom » a été conservé par Sommerfeld et nous est parvenu). Paschen insère dans la lettre une règle de papier qui permettra à son correspondant de mesurer les distances entre les différentes lignes à l'aide d'une loupe, en décrivant précisément l'apparence de chacune d'elles (intense, pointillée...).

Agrandissement, reproduction, échelle, variation des paramètres expérimentaux : toutes ces techniques rappellent une évidence plus générale. Les images sont d'abord des *objets matériels*, au sens anglophone de *pictures*¹³, et non pas de pures représentations. Ce qui est une autre manière de dire que le spectre de Paschen a un verso, qu'il peut nous tomber sur les genoux, autant de propriétés physiques qui sont nécessairement escamotées dans les reproductions qui figurent ici. Ce n'est au demeurant pas moins vrai des images numériques, dont la conservation et la lecture reposent sur des appareils bien physiques, comme les lecteurs de disquettes, et des logiciels, sans lesquels elles deviennent parfaitement illisibles.

La reproduction, impression, numérisation suggère que l'image existe en dehors de tout support matériel mais il ne faut pas oublier que tout processus de *remédiation* part d'un objet matériel, est lui-même matériel et qu'il garde en mémoire les médias qui l'ont précédé¹⁴. Les procédés photomécaniques d'impression qui, dans les années 1890, ont remplacé la gravure manuelle ont largement contribué à aplatir, à dissimuler ces médiations, particulièrement en ce qui concerne les photographies, qui paraissent dès lors en être indépendantes¹⁵. À l'aide de méthodes empruntées à l'histoire et l'archéologie des médias, on peut alors tenter de restituer l'histoire de la matérialité des images¹⁶.

Mais cette idée reste si présente qu'elle peut aujourd'hui mener, à la suite d'entreprises de numérisation, à la destruction des images,

10 Theodore Arabatzis, *Representing Electrons. A biographical Approach to Theoretical Entities*, Chicago, University of Chicago Press, 2006, p. 224-227.

11 Cette photographie faisait partie d'un lot comprenant des tirages de photographies de Harold Edgerton, Man Ray, Edouard Baldus, Robert Doisneau, etc. *Collections et Propositions, Vente aux enchères de la maison Millon le 13 novembre 2012 à Paris*.

12 Pour une étude exemplaire de l'influence du contexte sur la lecture (c'est à dire du corpus considéré comme pertinent), prenant l'exemple d'un problème mathématique consigné sur une tablette babylonienne, voir Jim Ritter, « Reading Strasbourg 368 : A Thrice-Told Tale » in Karine Chemla (dir.), *History of Science, History of Text*, Dordrecht, Springer, 2004, p. 177-200.

13 Au sens que W. J. T. Mitchell leur donne. William J. T. Mitchell, *Picture Theory. Essays on Verbal and Visual Representation*, Chicago, University of Chicago Press, 1994.

14 Jay D. Bolter et Richard Grusin, *Remediation. Understanding New Media*, Cambridge, MA, MIT Press, 2000.

15 James Mussell, *Science, Time and Space in the Late Nineteenth-Century Periodical Press*, Londres, Ashgate, 2007.

16 Jussi Parikka, *What is Media Archeology ?* Londres, Polity Press, 2012.

réduites ainsi à ce que l'on imagine être ses « contenus ». Ce sont les historiens et les conservateurs qui, les premiers, ont dû rappeler l'existence matérielle des photographies et l'importance de préserver celle-ci¹⁷.

Dans cette perspective, le « contenu » de l'image-objet est indissociable de son support, c'est-à-dire ici la nature de l'émulsion, sa taille, le papier, mais aussi la manière dont elle a été produite, reproduite, utilisée, conservée (ou non), classée, etc. Ces éléments sont révélateurs des pratiques et constitutifs de conceptions situées de l'image. Toute la trajectoire de ce spectre doit alors être prise en compte, de sa fabrication à Tübingen, sa réception à Munich, ses lectures, ses usages, jusqu'à ce qu'il atterrisse dans ce carton d'archives puis en soit ressorti. Étudier la lecture de l'image, c'est alors examiner les pratiques matérielles qui l'impliquent¹⁸: y compris le travail des petites mains, graveurs, imprimeurs, dessinateurs, peintres, techniciens qui deviennent visibles lorsque les savants leur reprochent d'avoir mal compris ce que devait être l'image (commettant le crime de gommer des lignes, les prenant pour des imperfections¹⁹!). Mais également les pratiques contemporaines, celles des historiens et des archivistes doivent être prises en compte : ce qui est considéré apte ou non à intégrer les banques d'images en dit long sur les conceptions de l'image et de l'image scientifique²⁰.

17 Costanza Caraffa (dir.), *Photo Archives and the Photographic Memory of Art History*, Munich, Deutscher Kunstverlag, 2011 et la déclaration de Florence *Recommendations for the Preservation of Analogue Photo Archives* : <http://www.khi.fi.it/en/Declaration> (consulté le 15 mars 2016).

18 Sur l'intérêt de « l'hérméneutique matérielle » (terme emprunté à Don Ihde) pour l'histoire de la photographie, voir Elizabeth Edwards, « Photography and the Material Performance of the Past », *History and Theory* 48 (2009), p. 130-150. Pour un état des lieux récent sur la (re)découverte de la matérialité des images en histoire de l'art et en histoire des sciences, voir Marcel Finke et Mark A. Halawa (dir.), *Materialität und Bildlichkeit*, Berlin, Kadmos, 2012.

19 Klaus Hentschel, *Mapping the Spectrum. Techniques of visual Representation in Research and Teaching*, Oxford, Oxford University Press, 2002 ; sur l'image comme objet et symptôme de rencontres interculturelles, voir Kapil Raj, « Surgeons, Fakirs, Merchants and Craftsmen : Making l'Empereur's Jardin in Early Modern South Asia », in Kapil Raj, *Relocating Modern Science. Circulation and the Construction of Knowledge in South Asia and Europe, 1650-1900*, Basingstoke, Palgrave Macmillan, 2007, p. 27-59.

20 Voir, parmi les premières études en histoire des sciences, Timothy Lenoir (dir.), *Inscribing Science: Scientific Texts and the Materiality of Communication*, Stanford,

L'image scientifique est partielle

Si la figure 1 est une photographie de « 4686 », que doit-on en conclure sur la lecture des images qui sont des mesures ? Le paradoxe qui voudrait que l'image s'oppose au chiffre, l'œil à l'instrument, le qualitatif au quantitatif s'évapore lorsque l'on examine de près le rapport que fait Paschen de ses séries d'observations rigoureuses, où ces approches se mêlent inextricablement²¹. Même la frontière entre théorie et expérience est poreuse. N'hésite-t-il pas à écrire que « les satellites les plus intenses que l'on ait pu observer sont composés de plusieurs satellites théoriques superposés²² » ?

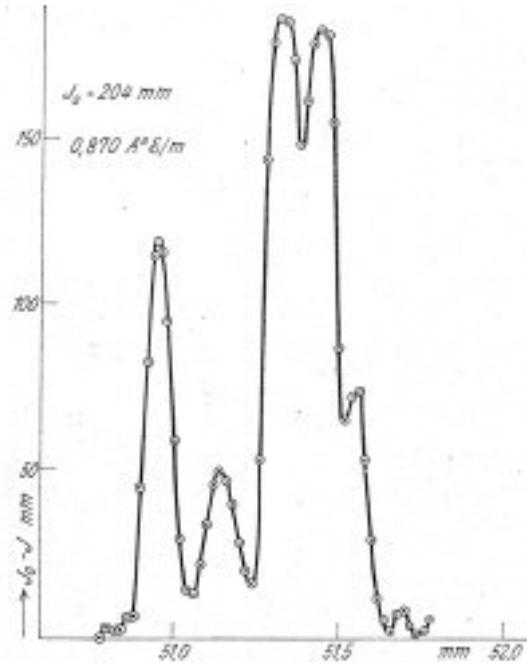
Bien avant l'avènement des images numériques, et la nouvelle incertitude qu'elles suscitent vis-à-vis d'une visualité codée en chiffres, certaines images sont considérées par les scientifiques comme étant indifféremment numériques et visuelles. L'observation oculaire, puis télescopique de la position des étoiles, occupation fondamentale de l'astronome (et qui en rendit aveugle plus d'un), est une mesure qu'il s'agissait ensuite de réduire pour composer à la fois des catalogues stellaires et des cartes célestes. Lorsqu'à la fin du XIX^e siècle les observatoires entreprennent de réaliser ce travail à l'aide de la photographie, l'observation visuelle est disjointe du travail de mesure, désormais réalisé sur les épreuves par du personnel peu qualifié (et souvent féminin) mais sans que soit perçue une quelconque césure entre les dimensions visuelles et numériques. Les opérations récentes de numérisation des plaques photographiques historiques issues de ces projets n'ont pas inventé mais simplement rappelé la complémentarité, voire l'interchangeabilité de l'image et de la mesure dans ce type de projets²³.

Stanford University Press, 1998. Ces approches s'inspirent aussi fortement des travaux portant sur l'histoire du livre, de la lecture et des archives.

21 Ici, paradigmes indiciaires et quantitatifs sont complémentaires plutôt qu'opposés. Carlo Ginzburg, « Traces. Racines d'un paradigme indiciaire », *Mythes, emblèmes, traces. Morphologie et histoire*, nouvelle édition augmentée, Lagrasse, Verdier, 2010, p. 218-294. Voir également la contribution de Ginzburg dans ce volume-ci.

22 Friedrich Paschen, « Bohrs Heliumlinien », *Annalen der Physik* 50 (1916), p. 901-940, sur la p. 911 (nous traduisons). On retrouve ici le thème classique de la charge théorique (« theory-ladenness ») de l'observation.

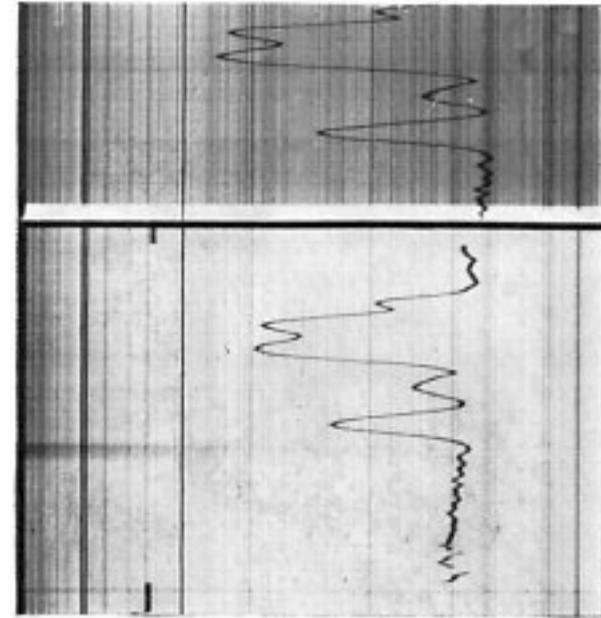
23 Charlotte Bigg, *Photography and Astronomy*, Londres, Reaktion Books (à paraître).



5. Friedrich Paschen, « Die relativistische Feinstruktur von Spektrallinien », *Annalen der Physik* 82, 1927.

On aurait tort d'opposer la photographie à la mesure, mais on n'aurait pas moins tort de les croire superposables. Ce ne sont de toutes les façons pour Paschen que deux modalités parmi d'autres d'étude et de figuration des spectres. Dans son laboratoire, le physicien les observe à l'aide de différents instruments, visuel, photométrique, et/ou photographique qui lui permettent d'en étudier différentes caractéristiques : la structure des lignes (*Gebilde*), les longueurs d'onde des lignes individuelles, leur intensité, et ceci dans une variété de conditions expérimentales. Les données qui en résultent sont représentées par divers moyens, visuels ou non.

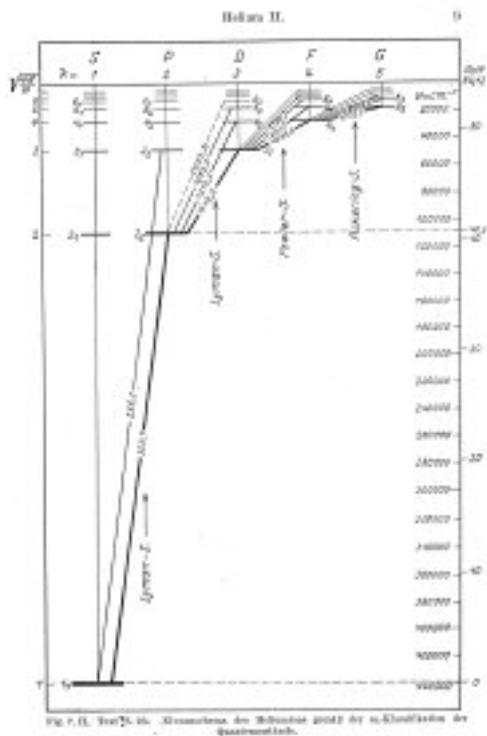
Les figures 5 et 6 représentent la structure fine de la ligne 4686 de l'hélium ionisé produite à l'aide de courant continu et mesurée par la photométrie, et où l'intensité est donnée en fonction de la



6. Friedrich Paschen, « Die relativistische Feinstruktur von Spektrallinien », *Annalen der Physik* 82, 1927.

longueur d'onde. La figure 5 reproduit la courbe tracée par le photomètre enregistreur, alors que la figure 6 est un graphique reprenant le tracé de la courbe et lui ajoutant divers points de mesure, qui sont plus loin comparés aux valeurs obtenues par le calcul et par les mesures spectroscopiques. L'intensité des lignes dans la figure 1 apparaît ici comme si celles-ci surgissaient en trois dimensions de la surface grise de la photographie. Selon Paschen, elle démontre l'accord avec la formule de Sommerfeld.

Différents modes de représentation (et on pourrait ajouter aux figures reproduites ici les tableaux de données, les formules) soulignent différents modes d'appréhension et différentes dimensions de l'objet étudié : chacun en offre une perspective partielle et c'est la raison pour laquelle, dans les contextes scientifiques, aucune image ne



7. Walter Grotrian, *Graphische Darstellung der Spektren von Atomen und Ionen, mit ein, zwei und drei Valenzelektronen*, 1928.



8. Dessins d'Arnold Sommerfeld représentant l'atome d'hydrogène, vers 1918.

se suffit à elle-même. Elle ne peut être saisie que dans le tissu des relations qui lui donnent son sens et sa raison d'être — c'est le rôle que Bruno Latour assigne aux inscriptions, elle est elle-même dans ses différentes manifestations et circulations une actrice essentielle de la fabrication et la stabilisation des savoirs scientifiques²⁴.

En fin de compte, pour Paschen et ses collègues, les spectres, émissions spécifiques de rayonnement électro-magnétique, constituent eux-mêmes des indices qui permettent d'élucider la structure et le fonctionnement interne des atomes. Les données expérimentales et théoriques seront traduites en nouvelles représentations d'un autre ordre, comme les diagrammes de Grotrian représentant les transitions permises entre les niveaux d'énergie des atomes [fig. 7]. Mais on pourrait également mentionner les esquisses, modèles de l'atome de Bohr-Sommerfeld [fig. 8], qui continuent de peupler les manuels de physique et les musées alors que le développement de la mécanique quantique les a rapidement rendus caduques, imposant les formalismes mathématiques comme seuls modes légitimes de visualisation de la structure de l'atome. En 1914, le physicien J. J. Thomson pouvait encore célébrer la chambre à brouillard de CTR Wilson comme la meilleure approximation d'un œil qui puisse visualiser l'atome, exclamant que « tout travailleur de la Théorie Atomique doit avoir regardé ces photographies avec des sentiments comparables à ceux d'Adams et Leverrier lorsqu'ils virent Neptune pour la première fois... voir, c'est croire²⁵ ». Quinze ans plus tard, il avait fallu reconnaître que si « on a pu supposer, jadis, qu'on pourrait indéfiniment poursuivre ce processus et, par exemple, étudier la Nature par portions de plus en plus petites, grâce à des grossissements amplifiés sans limites... À une certaine échelle, ces notions humaines extrapolées perdent leur sens. Nous nous heurtons à un mur » que seule une nouvelle génération, « par leurs théories hérissées de symboles mathématiques », serait à même de surmonter²⁶.

24 Bruno Latour, « Drawing things together. » In Michael Lynch et Steve Woolgar (dir.), *Representation in Scientific Practice*, Cambridge, Mass, MIT Press, 1990, p. 19-68.

25 Joseph John Thomson, *The Atomic Theory*, Oxford, Clarendon Press, 1914, p. 36-37. Nous traduisons.

26 Jean Perrin, « Le progrès de la science », *Les Éléments de la physique*, Paris, Albin Michel, 1929, p. 60.

L'image scientifique n'est pas le produit d'un appareil, elle est un appareil

Toute image est matérielle, mais l'image scientifique compte probablement parmi celles dont l'épaisseur physique est la plus importante. Car en sciences le dispositif de visualisation n'est pas extérieur mais fait souvent partie intégrante du dispositif expérimental. Il fait l'objet d'étude, de calibration, de modification au même titre que les autres instruments. La « nature réflexive de l'expérience » inclut souvent l'outil de visualisation²⁷. On peut ainsi relire toute l'histoire de l'astrophotographie comme celle d'une recherche associant une grande diversité d'acteurs pour développer de nouvelles méthodes pour capturer et mesurer des objets excessivement lointains, trop ou trop peu lumineux, de surcroît en mouvement permanent et perçus à travers le filtre d'une atmosphère imprévisible. Si l'on fabrique beaucoup de photographies scientifiques avec des dispositifs normalisés devenus boîtes noires, *la science photographique* (pour reprendre la terminologie introduite par Kelley Wilder) est une préoccupation majeure dans de nombreuses sciences²⁸. Il en va de même pour d'autres technologies de visualisation, inscription, modélisation. Les sciences sont un lieu majeur d'expérimentation et d'élaboration de techniques de visualisation, qui sont en même temps d'abord des instruments de recherche.

C'est d'ailleurs la raison pour laquelle les images scientifiques sont souvent illisibles et floues, polluées par le « bruit ». Souvent le travail scientifique s'apparente à la recherche de signaux et à la réduction des interférences, pour filer la métaphore électronique. Si le « flou artistique » a pu être revendiqué par les artistes photographes comme permettant une meilleure ressemblance, le « flou scientifique » est à la fois redouté et omniprésent, il est inévitable dès lors que l'image même est l'objet de l'expérimentation²⁹. Mais les images deviennent de plus en plus distinctes au fur et à mesure

27 Matthias Dörries, « Balances, spectroscopes, and the reflexive nature of experiment, » *Studies in the History and Philosophy of Science*, 25 (1994), p. 1-36. Le degré de réflexivité par rapport à la production des images varie très fortement selon les acteurs, même dans un domaine donné. Voir, pour les premières visualisations en microscopie électronique, Jochen Hennig, *Bildpraxis. Visuelle Strategien in der frühen Nanotechnologie*, Bielefeld, transcript, 2011.

28 Wilder, *Photography and Science*, *op. cit.*

29 Cf. le texte de Peter Geimer dans ce volume (« Qu'est-ce qui ne fait pas image. Troubles dans la référence »).

qu'elles se stabilisent et que leur public s'élargit. Le mystère de la figure 1 s'explique à la fois par le caractère *in progress* des expériences et la taille minuscule de la communauté qu'elle concerne, à peine plus de deux personnes³⁰. Dans l'article qu'il publie en 1916 dans la prestigieuse revue *Annalen der Physik* pour rendre compte de ses travaux, Paschen fait reproduire ce spectre (à l'envers) en fin de volume, accompagné d'explications précises qui permettent à ses collègues physiciens d'en faire sens et de l'apprécier à sa juste valeur [fig. 9³¹].

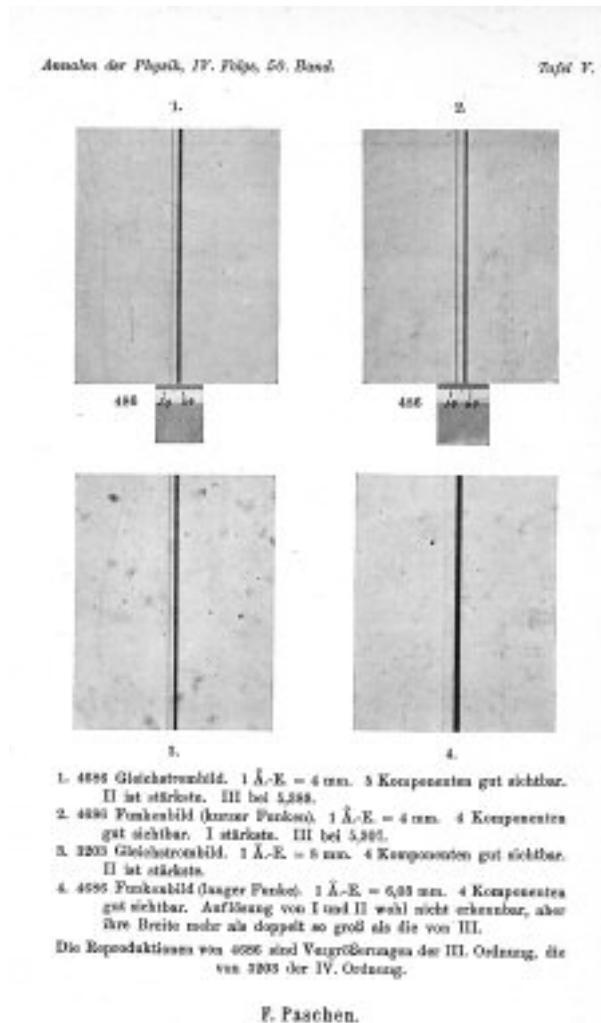
L'image-appareil est ainsi un élément majeur de l'histoire des cultures visuelles. Elle cristallise une configuration bien spécifique d'instruments, de pratiques de la vision, de conceptions de la perception et de théories de l'image, tous imbriqués les uns dans les autres et qui souvent traversent des espaces variés, scientifiques, artistiques, journalistiques, populaires : c'est le cas des images stéréoscopiques étudiées par Jonathan Crary, mais c'est tout aussi vrai des expérimentations picturales allemandes au tournant du XIX^e siècle qui matérialisent et répondent aux réflexions théoriques de Goethe et Hegel sur les couleurs et leur perception³². Les instruments d'optique sont un lieu privilégié pour étudier et élucider de telles configurations, tels que les télescopes en astronomie ou les microscopes, instruments dont les visualisations sont indissociables de la conceptualisation des objets et des processus étudiés³³. Dès lors notamment que des objets ne peuvent être perçus, étudiés qu'à travers des instruments, leur visualisation et leur compréhension est en partie dépendante de la théorie de l'instrument. L'étude de la division des cellules

30 Charlotte Bigg, « Of Blurs, Maps and Portraits : Photography and the Moon », in Carmen Pérez-González (dir.), *Selene's Two Faces. From the Daguerreotype to Spacecraft Imaging. A History of the Visualization of the Moon, 1840-2015*, Leiden, Brill (à paraître).

31 Friedrich Paschen, « Bohrs Heliumlinien », *Annalen der Physik*, 50, 1916, p. 901-940.

32 Jonathan Crary, *Techniques of the Observer. On Vision and Modernity in the Nineteenth Century*, Cambridge, MA, MIT Press, 1990; Annik Pietsch, *Material, Technik, Ästhetik und Wissenschaft der Farbe, 1750-1850* (Kunstwissenschaftliche Studien vol. 179), Berlin, Deutscher Kunstverlag, 2014.

33 Christoph Hoffmann, *Unter Beobachtung. Naturforschung in der Zeit der Sinnesapparate*, Göttingen, Wallstein Verlag, 2006 ; Jutta Schickore, *The Microscope and the Eye. A History of Reflections, 1740-1870*, Chicago : University of Chicago Press, 2007.



9. Friedrich Paschen, « Bohrs Heliumlinien », *Annalen der Physik*, 50, 1916.

au moyen de nouveaux arrangements micro-cinématographiques au début du XX^e siècle donne lieu à des réflexions théoriques sur la nature du mouvement qui impliquent à la fois des théories du cinéma et des théories du mouvement vivant³⁴. Étienne-Jules Marey ne suggère finalement pas autre chose lorsqu'il revendique sa méthode graphique comme une « véritable langue universelle³⁵ ».

L'image scientifique est opératoire

On a longtemps perçu les images scientifiques sous leur forme la plus répandue, c'est-à-dire sous forme de reproductions dans des publications, et ce sont encore aujourd'hui ces images qui rassemblent probablement le plus de lecteurs [cf. fig. 9]. C'est peut-être la raison pour laquelle on a eu tendance à réduire ces images à une simple fonction illustrative. Considérer l'image comme un appareil, y compris dans ses formes publiées, impose de reconnaître sa nature opératoire.

Les appareils de visualisation peuvent prendre la forme de technologies matérielles telles qu'un instrument en cuivre ou en laiton, mais également, c'est peut-être plus surprenant, de techniques corporelles comme l'observation oculaire et le dessin³⁶. C'est le cas des graphiques, admirablement décrits par Sybille Krämer :

Dans la tension entre la main qui *fait* et l'œil qui *voit*, le tracé constitue l'action élémentaire de l'icônicité opérationnelle. Le plan de l'inscription crée un espace pour le mouvement de la pensée, sur lequel les entités théoriques sont rendues visibles et ainsi manipulables. La nature sensible de cet acte peut être décrite comme la possibilité soudaine de

34 Hannah Landecker, « Cellular Features : Microcinematography and Film Theory », *Critical Inquiry* 31, 2005, p. 903-937.

35 Étienne-Jules Marey, *La Méthode graphique*, Paris, Masson, 1878, iv.

36 Longtemps reléguée au statut de simple vérification empirique, l'observation scientifique a récemment fait l'objet d'études réhabilitant sa complexité et son importance épistémologique. Cf. Lorraine Daston et Elizabeth Lunbeck (dir.), *Histories of Scientific Observation*, Chicago, University of Chicago Press, 2011 ; Olaf Breidbach, *Bilder des Wissens. Zur Kulturgeschichte der wissenschaftlichen Wahrnehmungen*, Paderborn, Wilhelm Fink, 2012 ; Omar Nasim, *Observing by hand. Sketching the nebulae in the nineteenth century*, Chicago, Chicago University Press, 2013.

voir un état de choses non empirique au sein d'agencements empiriques. Concernant la tactilité, cela signifie que les opérations de configuration et de reconfiguration des marques graphiques sont aussi simultanément des opérations idéales/intellectuelles. Le monde interstitiel des inscriptions sur le plan agit comme médiateur entre l'intuition et la pensée ; il intellectualise l'intuition et rend la pensée sensible. Bref, *nous pensons sur le papier*³⁷.

C'est cette conception que revendique Paschen, lorsqu'il enjoint à son correspondant, et plus tard à ses lecteurs, d'observer son spectre, de le mesurer, de le comparer à d'autres et à des prédictions théoriques. S'attardant moins sur ce que et comment l'image *représente*, cette conception de l'image se focalise sur sa performativité, sur ce qu'elle *fait* et ce que l'on fait avec elle.

L'image scientifique n'est pas objective, elle produit l'objectivité

De la même manière que l'outil de visualisation fait souvent partie du dispositif expérimental, l'image scientifique n'est pas simplement le résultat mais participe de l'élaboration de l'épistémologie savante. Elle est impliquée dans la construction des représentations et des interprétations de la Nature. L'étude des pratiques permet de comprendre comment les images participent, par exemple, du régime de la preuve dans les sciences, en ce qu'elles constituent des formes (parmi d'autres) d'« épistémologie matérialisée³⁸ ».

Au XIX^e siècle, émerge *l'idée* que les instruments mécaniques ou électriques sont plus aptes que les techniques corporelles telles que l'observation visuelle et le dessin pour produire des représentations fiables de la réalité. L'idéal de « l'objectivité mécanique, » comme Peter Galison et Lorraine Daston l'ont montré, s'exprime notamment

37 Sybille Krämer. « "The Mind's Eye" : Visualizing the Non-visual and the "Epistemology of the Line" », in Elisabeth Nemeth, Richard Heinrich, Wolfram Pichler (dir.), *Image and Imaging in Philosophy, Science, and the Arts. Preproceedings of the 33rd International Wittgenstein Symposium 2*, Kirchberg am Wechsel, Austrian Ludwig Wittgenstein Society, 2010, p. 275-295, p. 278-279 (nous traduisons). Sur le rôle de la main, cf. également Horst Bredekamp, « La "main pensante". L'image dans les sciences », dans *Penser l'image I*, dir. E. Alloa, Dijon, Les presses du réel, 2011, p. 177-209.

38 M. Norton Wise, « Making Visible », *Isis*, 97, 2001, p. 75-82.

dans les atlas d'images standardisées (même si cet idéal ne peut être complètement réalisé en pratique ni dans tous les domaines³⁹).

C'est au sein ce paysage épistémologique que l'envoi de Paschen prend son sens. Le spectre n'est pas pour Paschen une preuve (*Beweis*), terme général, absolu que l'on appliquera par la suite à l'ensemble de ses expériences : un article publié pour célébrer le centième anniversaire de sa naissance lui attribuera « la première preuve (*Beweis*) expérimentale de la validité de la théorie de la relativité⁴⁰ ». Non, ce spectre est décrit par Paschen comme une mise en évidence (*Beleg*), terme bien plus modeste et circonscrit et qui s'applique à l'une des nombreuses hypothèses émises par Sommerfeld. Mais il n'en est pas moins important. Le spectre redouble et concrétise les mesures numériques que Paschen fournit dans la lettre. Il *fait voir* à son correspondant le résultat de son expérience et lui donne les outils (règle, instructions) pour lui *faire lire* le spectre comme il l'a lui-même lu. Avant de prouver une quelconque théorie, il est d'abord une preuve matérielle de l'expérience de Paschen. Le spectre permet à Paschen non seulement de communiquer les résultats de l'expérience mais, dans une certaine mesure, de partager cette expérience. Le spectre de Paschen est un témoignage qui *parle* plus que la simple mesure. Il s'agit d'une forme de témoignage virtuel (« *virtual witnessing* »), dont on sait à quel point il est essentiel dans l'élaboration et la stabilisation des savoirs scientifiques⁴¹. (C'est ce qui explique le paradoxe des savants se plaignant que les reproductions des images dans leurs publications sont illisibles mais ne renonçant pas à les reproduire.)

La réplication des expériences est censée constituer une modalité fondamentale de validation dans les sciences, mais elle n'est pas pra-

39 Lorraine Daston et Peter Galison, *Objectivité*, Dijon, Les presses du réel, 2012.

40 « Die Atomphysiker Bohr und Sommerfeld stützen ihre Theorie auf die Messungen Paschens, der seinerseits den Ruhm in Anspruch nahm, den ersten experimentellen Beweis für die Richtigkeit der Relativitätstheorie erbracht zu haben. » Article dans la *Tübinger Chronik* daté du 15 décembre 1965. Fonds Gerlach: NL GERLACH 80/ 104, archives du Deutsches Museum, Munich.

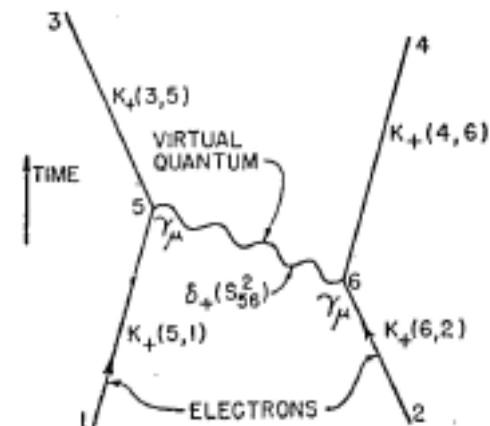
41 Steven Shapin et Simon Schaffer, *Leviathan et la pompe à air, Hobbes et Boyle entre science et politique*, Paris, La Découverte, 1993 ; H. Otto Sibum, « Reworking the Mechanical Value of Heat : Instruments of Precision and Gestures of Accuracy in Early Victorian England », *Studies in History and Philosophy of Science*, 26/ 1 (1995), p. 73-106.

tiquée autant qu'on le supposerait. Elle prend fréquemment des formes virtuelles : la performance orale devant un public d'initiés (lors de séances de sociétés savantes ou de congrès), des stratagèmes littéraires (articles dans les revues spécialisées) et la présentation et la circulation d'éléments matériels et visuels, soit directement, soit par la reproduction. Depuis le XIX^e siècle, les photographies sont un moyen de choix pour communiquer l'expérience scientifique au point que le photoréalisme, promu, comme on l'a vu, par les techniques photomécaniques de reproduction, est devenu synonyme d'objectivité⁴².

Mais, Daston et Galison l'ont montré, cette idée de l'objectivité à aussi une histoire, et le couple objectivité-subjectivité change de signification au cours du temps. Tout comme les pratiques de « virtual witnessing », ce couple, et c'est là un point essentiel, implique à la fois une morale individuelle et une conception *collective* du travail scientifique. L'image-preuve n'a de valeur que lorsqu'elle est partagée, communiquée, circulée, distribuée. Voilà pourquoi l'épidémiologue Robert Koch ira jusqu'à affirmer que « l'image photographique d'un objet microscopique est peut-être plus importante encore que l'objet même⁴³ ». La possibilité d'avoir des images stables, qui peuvent être regardées par plusieurs chercheurs à la fois, est donc une condition fondamentale pour la « lisibilité » généralisée. Dans les atlas, les manuels, les enseignements, les publications, les conférences, c'est en partie l'image qui permet le passage de l'observation individuelle à l'observation collective, contribuant ainsi à définir ce que sont à la fois une « bonne » observation et un « bon » observateur. Le collectif dans lequel l'image opère est essentiel, car il lui donne son sens, qui peut sinon totalement échapper à la compréhension. C'est ce qui rend l'image scientifique opaque aux non-initiés.

42 Pour une comparaison des objectivités scientifique et journalistique, voir Peter Galison, « The Journalist, the Scientist, and Objectivity » in Flavia Padovani, Alan Richardson, Jonathan Y. Tsou (dir.), *Objectivities in Science : New Perspectives from Science and Technology Studies*, Dordrecht, Springer, 2015, p. 57-75.

43 « Das fotografische Bild eines mikroskopischen Gegenstandes ist unter Umständen wichtiger als dieser selbst » (Robert Koch, « Zur Untersuchung von pathogenen Organismen », *Mitteilungen aus dem kaiserlichen Gesundheitsamtes* (1881), p. 11 (nous traduisons).



10. Richard Feynman, « Space-Time Approach to Quantum Electrodynamics », *Physical Review*, 76, 1949.

Lire entre les lignes. L'irréductible ambiguïté des images

On a vu que l'image scientifique est matérielle et ne prend sens que dans le contexte discursif, visuel, technique dans lequel elle s'inscrit. Elle est aussi opératoire, elle ne résulte pas seulement mais participe à l'élaboration des manières de voir et des manières de comprendre le monde, voire de l'entreprise scientifique elle-même car il s'agit d'un processus fondamentalement collectif. À ces différentes dimensions de l'image correspondent à chaque fois des conditions spécifiques de visibilité et de lisibilité qui sont à la fois techniques, sociales, culturelles.

Les conditions de cette lisibilité sont toutefois multiples et peuvent varier au cours du temps. Comme le suggère David Kaiser, un même type d'image, comme le diagramme de Feynman [fig. 10], peut changer profondément de signification :

Pour certains, les diagrammes fonctionnaient comme des représentations de processus physiques, ils paraissaient capturer quelque chose d'essentiel concernant les mécanismes du monde microphysique. Pour d'autres, les diagrammes n'étaient rien de

plus que des aides mnémoniques utiles qui permettaient de naviguer à travers de longues séries d'expressions mathématiques, et ne devant en aucun cas être pris pour des images du monde réel. D'autres encore développèrent les diagrammes comme outil pour une nouvelle forme de raisonnement diagrammatique. Les propriétés structurelles ou topologiques stimulèrent et permirent l'étude de diverses symétries auxquelles leurs expressions mathématiques associées devaient obéir. Le plus souvent, ces rôles distincts se confondaient dans la pratique⁴⁴.

Cette propriété est particulièrement prononcée pour les graphiques mais elle n'est pas leur apanage. La photographie voilée peut devenir *a posteriori* une mise en évidence d'un rayonnement nouveau — ou rester une erreur inexplicable, quand elle n'est pas tout simplement expliquée par d'autres facteurs⁴⁵. L'échographie peut devenir plus nette et plus lisible lorsque l'étudiante en médecine parvient à maîtriser à la fois le maniement de la machine, de la patiente enceinte et la lecture de l'écran. Mais certaines observations, même standardisées et généralisées, restent incertaines, à l'instar des analyses cytologiques, dont les marges d'erreur restent très importantes⁴⁶. D'autres images peuvent acquérir une signification nouvelle, lorsque par exemple les tableaux anciens sont étudiés à l'aide de rayons X, ultraviolets, infrarouges ou par la spectrométrie, révélant des propriétés, matières et images jusqu'alors cachées. Ou encore lorsque de nouvelles méthodes d'analyse génétique sont appliquées aux matériaux organiques présents dans d'anciennes lamelles de microscope produites et observées dans une tout autre finalité⁴⁷. En ce sens, on peut dire qu'*a priori* le spectre de Paschen pouvait en effet

44 David Kaiser, *Drawing Theories Apart: The Dispersion of Feynman Diagrams in Postwar Physics*, Chicago, University of Chicago Press, 2005, p. 21 (nous traduisons).

45 Mary-Jo Nye, « N-Rays : An Episode in the History and Psychology of Science », *Historical Studies in the Physical Sciences* 11 (1980), 125-156.

46 Ilana Löwy, *A Woman's Disease. The History of Cervical Cancer*, Oxford, Oxford University Press, 2001.

47 Michaela Mayrhofer, « About the new significance and the contingent meaning of biological material and data in biobanks », *History and Philosophy of the Life Sciences* 35, 2013, p. 431-447.

être tour à tour image et mesure, trace et tracé, ombre et trajectoire, selon les différents lecteurs qui se sont penchés sur celui-ci.

C'est en fin de compte lorsque la lisibilité des images est mise en doute et donc leur ambiguïté rendue explicite que l'importance cruciale des images apparaît le plus clairement, et que l'on en apprend le plus sur ce que sont censés être l'image et sa lecture. L'échec est-il attribué à la technique d'observation et de visualisation ? Est-il le ressort du lecteur, qui ne sait pas correctement voir ? Ou bien réside-t-il dans le phénomène lui-même, qui ne peut être correctement observé ou représenté ? On ne s'étonnera pas que face à ces multiples dangers menaçant l'intégrité du travail scientifique, les savants aient régulièrement cherché, sans jamais y parvenir complètement, à définir non pas ce qu'est une image, mais plutôt à encadrer qui constitue une « bonne » image⁴⁸.

48 Les ruptures technologiques sont particulièrement propices à cette explicitation des enjeux de l'image. Le tournant numérique, et plus particulièrement l'introduction de logiciels de manipulation des images, a redéfini la notion de fraude par les images et donné lieu à l'élaboration d'instructions de plus en plus détaillées par les revues et institutions scientifiques. Voir Mike Rosser et Kenneth M. Yamada, « What's in a Picture ? The Temptation of Image Manipulation », *Journal of Cell Biology*, 166/1, 2004, p. 11-15; « Not Picture-perfect », *Nature*, 23 février 2006, 439, p. 891-892.