HAL
open science

Vesto Melvin Slipher (1875-1969) et la naissance de l'astrophysique extragalactique.

Alain Brémond

To cite this version:

Alain Brémond. Vesto Melvin Slipher (1875-1969) et la naissance de l'astrophysique extragalactique.. Astrophysique [astro-ph]. Université Claude Bernard - Lyon I, 2008. Français. NNT : . tel-00420560v1

HAL Id: tel-00420560

https://theses.hal.science/tel-00420560v1

Submitted on 29 Sep 2009 (v1), last revised 5 Aug 2010 (v2)

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.

N° d'ordre : 236 Année 2008

THESE

Présentée

Devant l'**UNIVERSITE LYON I – CLAUDE BERNARD**

Laboratoire d'Etude du Phénomène Scientifique.

Pour l'obtention

Du DIPLOME DE DOCTORAT

(arrêté du 7 août 2006)

présentée et soutenue publiquement le 2 décembre 2008

par

M. Alain BRÉMOND

TITRE :

Vesto Melvin Slipher (1875-1969) et la naissance de l'astrophysique extragalactique

Directeur de thèse : M. Philippe JAUSSAUD

Jury M. Hugues Chabot

M. Jean Eisenstaedt

M. Jan Lacki

M. Jean-Pierre Luminet

M. Georges Paturel

Mme Anne-Françoise Schmid

M. Pekka Teerikorpi

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON I

Président de l'Université	**M. le Professeur L. COLLET**
Vice-président du Conseil Scientifique	M. le Professeur J.F. MORNEX
Vice-président du Conseil d'Administration	M. le Professeur J. LIETO
Vice-président du Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire	M. le Professeur D. SIMON
Secrétaire Général	M. G. GAY

SECTEUR SANTE

Composantes

UFR de Médecine Lyon R.T.H. Laënnec	Directeur : M. le Professeur P. COCHAT
UFR de Médecine Lyon Grange-Blanche	Directeur : M. le Professeur X. MARTIN
UFR de Médecine Lyon-Nord	Directeur : M. le Professeur J. ETIENNE
UFR de Médecine Lyon-Sud	Directeur : M. le Professeur F.N. GILLY
UFR d'Odontologie	Directeur : M. O. ROBIN
Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques	Directeur : M. le Professeur F. LOCHER
Institut Techniques de Réadaptation	Directeur : M. le Professeur MATILLON
Département de Formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine	Directeur : M. le Professeur P. FARGE

SECTEUR SCIENCES

Composantes

UFR de Physique	Directeur : Mme. le Professeur S. FLECK
UFR de Biologie	Directeur : M. le Professeur H. PINON
UFR de Mécanique	Directeur : M. le Professeur H. BEN HADID
UFR de Génie Electrique et des Procédés	Directeur : M. le Professeur G. CLERC
UFR Sciences de la Terre	Directeur : M. le Professeur P. HANTZPERGUE
UFR de Mathématiques	Directeur : M. le Professeur A. GOLDMAN
UFR d'Informatique	Directeur : M. le Professeur S. AKKOUCHE
UFR de Chimie Biochimie	Directeur : Mme. le Professeur H. PARROT
UFR STAPS	Directeur : M. C. COLLIGNON
Observatoire de Lyon	Directeur : M. le Professeur R. BACON
Institut des Sciences et des Techniques de l'Ingénieur de Lyon	Directeur : M. le Professeur J. LIETO
IUT A	Directeur : M. le Professeur M. C. COULET
IUT B	Directeur : M. le Professeur R. LAMARTINE
Institut de Science Financière et d'Assurances	Directeur : M. le Professeur J.C. AUGROS

Remerciements

Ma profonde reconnaissance va d'abord à Philippe Jaussaud et à Hugues Chabot qui m'ont accueilli au sein du LIRDHIST et m'ont dirigé au long de ce travail avec beaucoup de disponibilité. Travailler à leurs côtés m'a permis de bénéficier de leurs grandes compétences et de leur expérience en histoire des sciences. Plus particulièrement, Les conseils de Hugues Chabot ont participé au succès de mes premières publications dans ce domaine.

Tout aussi importants ont été les conseils de Georges Paturel qui a bien voulu me transmettre une partie de ses immenses connaissances sur les galaxies. Il l'a fait avec beaucoup de disponibilité et de gentillesse. Je lui exprime toute ma gratitude et espère pouvoir continuer des travaux auprès de lui.

L'aide d'Antoinette Beiser a été déterminante dans la réussite de ce travail. En effet, lors de mon séjour à l'Observatoire Lowell, elle m'a non seulement ouvert les archives de cet établissement mais m'a guidé sur des pistes intéressantes, en particulier en mettant à ma disposition les notes de William Hoyt. Je la remercie chaleureusement.

Je remercie également toute l'équipe du LIRDHIST dont les premiers enseignements au cours du Master m'ont enthousiasmé et incité à poursuivre une recherche en histoire des sciences.

Je suis également reconnaissant à Jean Eisenstaedt et à Jan Lacki qui ont accepté d'être les rapporteurs de cette thèse.

Je remercie Madame Anne-Françoise Schimd pour avoir accepté de siéger dans ce jury mais aussi pour toute l'aide qu'elle m'a apporté au cours des discussions que nous avons eu sur la philosophie des sciences. J'espère qu'elle ne sera pas déçue par la très imparfaite discussion philosophique menée autour des travaux de Vesto Slipher.

Je remercie également Jean-Pierre Luminet d'avoir accepté de juger ce travail. Il est, sans qu'il le sache, en grande partie à l'origine de mon intérêt pour l'histoire de l'Astronomie que j'ai connue par la lecture de la plupart de ses ouvrages.

Mes remerciements vont aussi à Pekka Terrikorpi dont je connais l'intérêt pour l'histoire des sciences et qui a accepté de faire un long voyage pour venir juger mon travail.

Enfin je souhaite remercier Céline, mon épouse. Le temps dévolu à ces travaux m'ayant beaucoup accaparés au détriment de celui que j'aurais dû lui consacrer. Je la remercie aussi pour ses encouragements permanents à poursuivre ce travail jusqu'à son terme.

Introduction..... 6

1. Le choix de Vesto Slipher. 8
2. Périodisation et questions de recherche. 9
3. Présentation des sources utilisées. 11
   3.1. Les sources primaires 11
   3.2. Les sources secondaires : les historiens de l'astronomie à propos de Vesto Slipher. 13
4. Histoire précoce des nébuleuses. 18
   4.1. Les premières observations, avant la spectroscopie. 18
   4.2. Les débuts de l'astrophysique des nébuleuses. 27

Première partie : l'apport de Vesto Melvin Slipher..... 39

1- Biographie de Vesto Melvin Slipher 39
2- L'observatoire et son histoire.....49
3- Un astronome au travail.....52
   3.1. La période de mises au point. 53
   3.2. Les premiers travaux planétaires et stellaires. 56
   3.3. Les travaux sur le spectre des nébuleuses spirales.....58
   3.4. Les vitesses radiales 64
   3.5. La rotation des spirales.....90
4. Slipher, président de la commission des nébuleuses, n°28, de l'UAI. 115
   4.1 Les travaux de la commission de la section américaine. 117
   4.2. Les débuts et la présidence de Bigourdan 118
   4.3. La présidence de Slipher et la préparation du congrès de Cambridge (1922-1925). 120
5. Slipher et le milieu astronomique 127
   5.1. Relation avec les autres astronomes.....127
   5.2. L'acceptation des travaux de Slipher par la communauté des astrophysiciens. 133
   5.3. Utilisation des données de Slipher. 142
6. Points de vue personnels sur Slipher 154
   6.1. Sur sa stratégie de publications. 154
   6.2. Sa personnalité comme scientifique. 156
   6.3. Philosophie scientifique de Slipher. 158

Seconde partie :Observations, mesures, images et conception de l'objet galaxie chez Slipher..... 162

1. Les instruments. 163
2. Le rôle de l'image dans le domaine de l'astronomie des nébuleuses extra-galactiques. 165
   2.1. L'image en astronomie des nébuleuses 166
   2.2. La place de l'image dans les travaux de Vesto Slipher. 211
3. Les observations et les mesures de Vesto Slipher. 214
4. L'objet « galaxie », le rôle des modèles. 219
   4.1. Evolution des hypothèses cosmologiques de Slipher. 220
   4.2. Modélisation des connaissances sur les nébuleuses. 232

Troisième partie : L'astrophysique extragalactique, une nouvelle spécialité ouverte aux astronomes ; un chemin tracé par Vesto Slipher. 242

1. L'individuation de l'astrophysique 243
2. L'émergence de l'astronomie extragalactique. 245
   2.1. La constitution de ce domaine spécialisé. 246

2.2. Qui constitue ce groupe ? 248
2.3. Prééminence des Etats-Unis : mythe ou réalité ? 249

Introduction

> L'Astronomie est utile, parce qu'elle nous élève au-dessus de nous-mêmes ; elle est utile, parce qu'elle est grande ; elle est utile parce qu'elle est belle ; voilà ce qu'il faut dire. C'est elle qui nous montre combien l'homme est petit par le corps et combien il est grand par l'esprit, puisque cette immensité éclatante où son corps n'est qu'un point obscur, son intelligence peut l'embrasser toute entière et en goûter la silencieuse harmonie.
>
> Henri Poincaré. La valeur de la Science[1].

Après une longue période de lente évolution, l'astronomie du système solaire se trouve bouleversée par la révolution copernicienne. Un second changement d'importance apparaît avec une révolution qui concerne l'astronomie de l'univers dans sa globalité autour des travaux de Edwin Hubble. Mais alors que la révolution copernicienne n'a pas été déterminée par l'apparition de nouveaux instruments, la révolution « cosmologique » est fortement dépendante d'une instrumentation nouvelle : spectroscopie et photographie en particulier.

Avant Nicolas Copernic[2] le modèle géocentrique que Ptolémée décrit dans l'Almageste avait été raffiné progressivement pour tenir compte des observations astronomiques, mais le concept initial était resté inchangé. Copernic, avec l'héliocentrisme, est à l'origine d'une révolution scientifique prise comme modèle par la plupart des historiens

[1] (Poincaré, 1920) [Première édition 1913]; page 157.

[2] (Reichenbach, 1980)

et philosophes des sciences (Duhem, Kuhn, Feyerabend…). À partir de cette nouvelle conception de l'astronomie, de nouveaux travaux sont entrepris. Tycho Brahé (1546-1601) propose certes un modèle divergent, mais produit surtout de nombreuses mesures dont la précision est inégalée à son époque, et que Kepler utilisera. Ce dernier confirme le modèle héliocentrique en énonçant les trois lois empiriques que nous connaissons. Au même moment, Galilée renforce, par ses observations, le concept héliocentrique en même temps qu'il commence à transformer la physique. C'est à Newton, à la fois physicien et mathématicien, qu'il reviendra de définir les lois de la gravitation et de donner une démonstration et une formulation mathématique des lois de Kepler. À partir de là, les astronomes conduisent des travaux basés sur ce nouveau paradigme. C'est ainsi que l'on mesure l'aplatissement de la Terre aux pôles, prévu par la théorie, que l'on découvre par le calcul l'existence d'une nouvelle planète, Neptune, ou qu'on mesure la distance de la Terre au Soleil par la méthode des transits. Des phénomènes naturels peuvent être « vus » et interprétés comme des phénomènes astronomiques : comètes et novæ par exemple. On cherche aussi à mesurer une parallaxe stellaire prévue par l'héliocentrisme, mais cette tentative se solde par des échecs successifs en raison des limitations instrumentales. Mais l'astronomie dite de position réalise plus tard des prouesses techniques et scientifiques et permet des prévisions inégalées dans le système solaire et dans celui des étoiles. Les cartes repèrent la position de milliers d'étoiles dans les deux hémisphères[3].

Un certain nombre de limitations apparaissent jusqu'à la fin du XIXe siècle. Elles portent sur deux grands domaines. L'astronomie peine à décrire l'Univers à une échelle plus grande que le système solaire et l'on ignore à quoi correspond précisément la Voie Lactée (ou Galaxie). Pour répondre à cette question il faut recourir à des méthodes de mesure de distance dont ne disposent pas, alors, les astronomes. Par ailleurs la nature des objets nébuleux n'est pas non plus élucidée. Le second domaine inexpliqué est celui de la nature physique du Soleil et des étoiles. Leur composition est inconnue, de même que les mécanismes de la production de lumière. Auguste Comte (1798-1857) répond en 1852 à ces questions de façon péremptoire dans son *Cours de Philosophie Positive*: « Toute recherche qui n'est point finalement réductible à de simples observations visuelles nous est donc nécessairement interdite au sujet des astres, qui sont ainsi de tous les êtres naturels ceux que nous pouvons connaître sous le rapport les moins variés. Nous concevons la possibilité de déterminer leurs formes, leurs distances, leurs grandeurs et leurs mouvements ; tandis que nous ne saurons jamais étudier par aucun moyen leur composition chimique, ou leur structure minéralogique, et, à plus

[3] Pour cette histoire, consulter (Verdet, 1990), (Hoskin, 1997), (Koyré, 1992).

forte raison la nature des corps organisés qui vivent à leur surface, etc. [4] » Il considère en outre que « … toute notion sur les véritables températures moyennes des différents astres comme devant nécessairement nous être à jamais interdite. [5] » Enfin, pour Comte, ce qui est accessible à une science astronomique positive, c'est le seul système solaire : « Au contraire, la pensée de ce que nous appelons l'univers est par elle-même nécessairement indéfinie, en sorte que, si étendue qu'on veuille supposer dans l'avenir nos connaissances réelles en ce genre, nous ne saurions jamais nous élever à la véritable conception de l'ensemble des astres. »

Or à cette même période, les physiciens commencent à observer en détail le spectre solaire, et de ces observations va naître une nouvelle discipline astronomique dédiée à ces études que Comte jugeait à jamais impossibles. Pour Auguste Comte encore, l'astronomie sidérale « … n'existe certainement que de nom… Or, je ne crains pas d'assurer qu'il en sera toujours essentiellement ainsi, et l'ensemble de ce Traité le rendra, j'espère, incontestable, quoique la prétendue astronomie sidérale n'y doive point, par ce motif même, être spécialement envisagée. [6] »

Nous montrerons dans ce travail comment cette impossibilité de comprendre l'Univers à grande échelle va, peu à peu, être vaincue par les astronomes, avec des moyens qui, au début, restent encore modestes.

Nous allons maintenant préciser la problématique et la méthodologie qui ont guidé notre thèse.

1. Le choix de Vesto Slipher.

L'astronome Vesto Slipher (1875-1969) constitue le pivot de notre travail. Le choix de ce personnage découle de son rôle essentiel dans le démarrage des études systématiques d'objets célestes qui vont progressivement apparaître comme extragalactiques. En dépit d'une reconnaissance par ses contemporains, comme en témoigne, notamment, sa nomination en 1922 comme président de la commission des nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale, l'historiographie a négligé, sous-évalué ou sous-estimé sa réelle contribution dans l'astrophysique du début du XXe siècle et son influence sur les travaux cosmologiques.

[4](Comte Auguste, 1842) p 8

[5] Ibid p 12.

[6] (Comte Auguste, 1844) p 114.

Nous ne prétendons pas écrire ici sa biographie complète car il a aussi contribué brillamment à d'autres domaines, notamment l'étude des planètes. Nous nous focalisons d'abord sur l'« astronome au travail » et nous étudions en profondeur la contribution de Slipher à l'étude des nébuleuses. Nous traitons cette partie avec l'œil des micro-historiens, au moins en ce qui concerne l'analyse minutieuse des sources[7], en suivant au plus près la chronologie de la carrière de Slipher, à l'aide de ses carnets d'observation, de ses notes diverses, de sa correspondance, des lettres à l'éditeur et de ses publications.

Nous nous intéressons aussi aux personnes avec lesquelles il a entretenu des relations au plan scientifique. Pour définir ces relations, nous nous basons sur les courriers échangés, mais aussi sur d'éventuelles lettres à l'éditeur et leurs réponses. Nous appelons directs ces liens, et indirects ceux, issus de la littérature scientifique, qui montrent l'existence d'une controverse entre Slipher et un autre scientifique. C'est ainsi, par exemple, que les liens de Slipher avec Hubble, Campbell ou Fath sont directs, alors qu'ils sont indirects avec van Maanen ou Lindblad avec lesquels il n'a jamais eu d'échange épistolaire.

Incidemment, cette méthode de travail nous permet de connaître les astronomes qui ont constitué une communauté de recherche sur les nébuleuses.

2. Périodisation et questions de recherche.

Notre travail prend comme point de départ la première étude spectroscopique d'une nébuleuse, celle d'Andromède, en 1888, première recherche en astrophysique sur cette catégorie d'objets. Nous avons choisi comme borne finale l'année 1950, date de la retraite de Vesto Slipher.

Le corpus historique reconstitué nous permet de mettre en évidence l'importance des observations et des mesures réalisées dans trois domaines : la structure spectrale, la vitesse dans l'espace et la rotation des nébuleuses. À partir de ces observations et des théories mises en jeu, Slipher élabore des hypothèses sur la nature de ces objets. Nous décrivons ensuite la

[7] La micro histoire, plus une pratique qu'une théorie, est née en Italie. Son bût et ses méthodes ont été décrites par J. Revel (Revel, 1996)

réception de ses travaux originaux et de ses hypothèses par la communauté astronomique, en particulier à travers deux personnages essentiels que sont William Campbell (Aitken, 1928) et Edwin Hubble.

Les données accumulées par Slipher jouent un rôle important dans le débat qui sépare les astronomes au sujet de la constitution de l'univers observable. Complétées par celles obtenues par Hubble, elles seront aussi largement utilisées dans les débats engendrés par l'utilisation de la théorie de la Relativité Générale à des fins cosmologiques.

Notre objet historique principal d'étude est l'émergence du concept de galaxies grâce aux travaux de Vesto Slipher et de quelques autres astronomes. Un second objet historique, lié au premier, est constitué par la naissance, à partir de ces premiers travaux, d'une spécialité de l'astronomie : l'astrophysique extragalactique. Cette science des galaxies n'existe pas encore lorsque Slipher débute son activité d'astronome, et celui-ci va jouer un rôle de premier plan dans la construction d'un nouveau domaine scientifique qui conduira à la cosmologie observationnelle.

La classe d'objets scientifiques étudiée par les astronomes et auxquels nous nous intéressons rassemble les nébuleuses dites spirales (qui vont devenir des galaxies)[8]. Ces nébuleuses spirales ont été individualisées, comme nous le verrons plus loin, au sein d'un ensemble d'objets appelés nébuleuses en général pour les distinguer des autres objets célestes bien identifiés comme les étoiles, les planètes (ou leurs satellites) et les comètes. Les nébuleuses spirales vont se distinguer progressivement de la Galaxie du fait de leurs positions dans l'espace, tout en s'en rapprochant sur le plan structurel et gagner ainsi le statut de galaxies[9].

L'astronomie en général, et comme elle l'astrophysique extragalactique, est une science d'observation, les expériences directes sont inaccessibles. Ces observations produisent des images et des mesures. Il nous a paru important d'analyser ces sources de connaissances, d'abord dans le cadre limité de l'objet scientifique étudié, mais aussi en élargissant la perspective à d'autres domaines de l'astronomie, parfois plus illustratifs. Ces analyses nous

---

[8] Les galaxies elliptiques sont progressivement reconnues mais moins étudiées car difficiles à caractériser. Elles sont signalées par Todd en 1897 (Todd, 1897)

[9] Il est d'usage d'utiliser la majuscule en parlant de la Galaxie dans laquelle nous vivons, et la minuscule pour les autres systèmes, extérieurs au nôtre. Pour la date d'apparition de cette distinction et en particulier l'histoire du remplacement du dénominatif courant nébuleuse par galaxie, voir la seconde partie, paragraphe 4 : l'objet galaxie.

permettent d'essayer de comprendre comment s'est constitué notre objet scientifique, les galaxies.

Enfin nous avons constaté, au fil de notre étude historique, que cette élaboration, comme la naissance de l'astrophysique extragalactique, s'est constituée dans le cadre particulier des observatoires privés, aux États-Unis. Nous avons donc vérifié, dans un premier temps, la réalité de cette primauté scientifique avant de tenter d'en analyser les principales causes en comparant les fonctionnements de divers observatoires aux États Unis et en Europe, en nous intéressant principalement au cas de la France et en examinant de façon moins détaillée, à titre d'exemples, ceux du Royaume Uni, de l'Allemagne et de la Suède.

3. Présentation des sources utilisées.

3.1. Les sources primaires

Elles constituent le fondement essentiel de notre travail. Nous avons utilisé les deux grands types de sources disponibles : les archives et les publications scientifiques ou de vulgarisation[10]. Nous avons réalisé un inventaire complet de ces archives qui fait l'objet de la seconde partie de ce travail.

Les archives consultées sont les suivantes :

1) Les archives de l'observatoire Lowell où Vesto Slipher a toujours travaillé. Nous avons étudié sur place tout ce qui concerne Vesto Slipher, avec l'aide de la bibliothécaire de cet établissement. Pour recréer l'environnement et le mode de travail de Vesto Slipher nous disposons, à côté de ses publications, de correspondances avec un grand nombre de personnages dont certains ont joué un rôle de confidents, comme Lowell, mais surtout John Miller un de ses anciens professeurs. Le premier réside à Boston, loin de l'observatoire situé en Arizona. Il exige de Slipher qui s'y soumet scrupuleusement, une relation au moins hebdomadaire et très précise de toutes ses activités. La relation de subordination biaise probablement les échanges. Tout n'est

[10] Nous considérons toutes les publications astronomiques comme sources primaires, réservant le terme de secondaires aux publications à visée historique.

pas dit, et ce qui est dit est présenté d'une certaine façon. Mais la relation avec John Miller est tout autre. C'est son ancien professeur, avec lequel il entretient des relations dénuées de tout enjeu de pouvoir. De plus, la réussite scientifique de Slipher rend très vite ces échanges égalitaires. Slipher lui confie ses doutes, ses espoirs, ses difficultés. D'autres relations plus professionnelles viennent compléter le tableau, par exemple avec Campbell[11], Fath, Ducan, Hubble. Les deux premiers jouent le rôle de conseillers, et ils semblent bien jouer ce rôle, d'autant qu'il n'y a pas de réelle concurrence entre eux et Slipher. Pour sa part, John C. Duncan (1882-1962) est plus jeune que Slipher de quatre ans et issu de la même université que lui. Leurs entretiens épistolaires font souvent état d'avis d'astronomes que côtoie Duncan mais que Slipher ne rencontre pas ou avec lesquels il ne correspond pas. Cette correspondance permet de connaître leur avis sur les travaux que Vesto Slipher entreprend. Finalement, l'isolement géographique de l'observatoire dans lequel travaille Slipher est une chance pour l'historien, car ce qui aurait pu n'être qu'un échange oral –et donc serait perdu- a fait l'objet de lettres qui ont été conservées. Nous disposons aussi d'un nombre important de notes de travail de Slipher, ainsi que des brouillons de ses articles, ce qui nous permet d'accéder à ses repentirs, modifications, ajouts ou suppressions.

2) Les archives de l'observatoire Lick, qui ont été analysées par William Hoyt. Cet astronome se proposait de publier ses recherches historiques, mais son décès prématuré ne lui a pas permis de réaliser son projet. Ses notes de travail, incluant le recensement des archives de Lick, sont conservées à l'observatoire Lowell. Nous les avons consultées et les documents qui concernent Vesto Slipher sont transcrits dans le volume des archives.

3) Les archives des Herschel, publiées sous forme de DVD par la *Royal Astronomical Society*. Elles renferment toutes les archives disponibles issues des travaux de William, Caroline et John Herschel. On y trouve également de nombreuses figures parfois de la main des auteurs. Ces archives ont été utilisées en complément des sources historiques secondaires, abondantes, avec deux objectifs. D'abord pour retracer précisément dans l'annexe 1, l'histoire des nébuleuses dans la période qui précède les premiers travaux de Slipher. En effet, les conceptions initiales sur les nébuleuses diffusées dans la communauté des astronomes que nous étudions sont celles des Herschel. Ces sources nous ont également aidé à discuter du statut de

[11] Une courte biographie des auteurs cités peut être consultée dans l'annexe 8.

l'image astronomique, dans ses rapports en particulier avec les problèmes rencontrés pour classer les nébuleuses.

4) Entre les travaux de William et John Herschel et ceux de Vesto Slipher, il y eut des travaux qui ont permis à Slipher et ses collègues de mener à bien leurs propres recherches. Cependant, comme chaque scientifique pris individuellement a produit relativement peu de travaux sur les nébuleuses, nous n'avons pas étudié leur production dans les archives, le travail eut été trop lourd. Dans ces domaines, nous avons donc travaillé à partir des sources secondaires et des articles qu'ils ont publiés.

Les publications.

- Toutes les publications de Vesto Slipher ainsi que celles des astronomes qui ont publié sur le sujet ont été consultées, et la plupart du temps conservées sous forme de fichier informatique. Nous avons également fait une recherche systématique, dans tous les périodiques d'astronomie disponibles pour la période d'étude, en vue de réaliser quelques recherches quantitatives, comme le nombre de publications en fonctions des astronomes, des pays, les références au mot « galaxie », la place de l'image dans les publications…

- Nous avons également étudié un certain nombre d'ouvrages d'astronomie contemporains de Slipher, classés dans trois catégories : enseignement universitaire, synthèse scientifique et vulgarisation. Nous avons utilisé ces enquêtes pour étudier la réception des travaux de Vesto Slipher et leur présentation. Nous avons également complété nos recherches sur les illustrations présentées et leur mode d'utilisation dans ces ouvrages.

3.2. Les sources secondaires : les historiens de l'astronomie à propos de Vesto Slipher.

Plusieurs auteurs ont abordé la question de la naissance de l'astrophysique extragalactique, principalement Norris Hetherington, Richard Berendzen, Owen Gingerich, Michael Hoskin, Robert Smith et Michael Crowe. Leurs publications se présentent sous forme d'ouvrages et pour certains d'articles. Ils seront tous cités au cours des développements de notre travail. Leur apport historique est important sur le plan de l'étude factuelle des différents épisodes de

l'histoire de l'étude des nébuleuses. Tous sont des astronomes, même si certains ont consacré la plus grande partie de leur activité à l'histoire de leur discipline. Certaines de ces études concernent un point spécifique, alors très détaillé et replacé dans son contexte scientifique. C'est le cas par exemple des travaux sur van Maanen et la polémique qui a suivi. D'autres, au contraire, sont des ouvrages très généraux. Seul celui de Robert Smith s'intéresse plus spécifiquement à la période que nous étudions. Les points de vus sont résolument narratifs et empruntent au style des récits historiques classiques de la science. Ils sont indispensables comme référence sur le sujet.

Cependant nous avons pu réaliser une étude précise et complète des sources primaires, ce que ces auteurs n'avaient pas fait systématiquement compte tenu du caractère plus large de leurs préoccupations et du fait qu'ils n'ont souvent accédé qu'à la seule partie microfilmée des archives, comme dans le cas de Hetherington[12].

L'apport de Slipher est relaté d'une façon variée. Nous n'évoquerons pas en détail les récits des découvertes, pour nous attacher principalement aux jugements portés sur le personnage et le cas échéant sur sa façon de travailler.

Owen Gingerich[13], dans son ouvrage sur l'astronomie au XXe siècle, ne cite Slipher qu'une fois, à propos de spectrographes : "… with such a combination V.M. Slipher of the Lowell Observatory had determined the radial velocity of 41 galaxies by 1925."

Michael Hoskin[14] relate sa découverte des vitesses radiales en quelques lignes puis fait état de l'acceptation des vitesses radiales de Slipher par la communauté astronomique[15]. Il faut cependant signaler que son ouvrage, général, présente la totalité de l'histoire de l'astronomie et ne peut donc consacrer beaucoup de place à chaque personnage.

Richard Berendzen et al.[16] ont consacré un ouvrage entier à l'histoire des galaxies. Ils rapportent assez fidèlement les travaux de Slipher ainsi que certaines de ses hypothèses. Trois pages concernent la découverte des vitesses radiales et signalent que Slipher a suggéré que les spirales pourraient être en dehors de la Galaxie. La *drift hypothesis* est réduite à la seconde version qu'en donnera Slipher: «Slipher himself suggested that the spirals were outside the Milky Way,

---

[12] Voir le paragraphe des remerciements (Hetherington, 1975)

[13] (Gingerich, 1984)

[14] (Hoskin, 1997) page 326

[15] Ibid p 339

[16] (Berendzen et al., 1984) pp 104 à 107

when he postulated the theory that the Milky Way galaxy was drifting with respect to the spirals. He formulated the idea to explain why some of the spirals were apparently approaching the Milky Way and others (the vast majority) were receding from it." En réalité, cette idée de dérive a d'abord été formulée dans une première version à un moment où Slipher estimait que les nébuleuses étaient des précurseurs de systèmes « solaires ». La « *drift hypothesis* » était ainsi tout à fait compatible avec leur présence à l'intérieur de la Galaxie. Ce n'est que plus tard, après avoir mesuré la vitesse relative du système solaire par rapport aux nébuleuses, qu'il a abandonné cette idée et a postulé qu'elles seraient composées d'étoiles et localisées en dehors de la Galaxie. Berendzen et al. abordent ensuite[17] la mesure de la rotation par la méthode spectroscopique, puis[18] il est fait état de la méthode de Slipher pour déterminer l'orientation des spirales par les nuages sombres. Une lettre de Slipher à Curtis et la réponse de ce dernier sont citées. Plus loin[19], Berendzen note la contradiction entre le sens de rotation établi par Slipher et certaines observations contradictoires de van Maanen. Les pages 158-159 abordent les positions de Hubble et de Slipher, à la commission de l'U.A.I., sur la classification des nébuleuses. Il est fait mention [20] de l'utilisation des vitesses radiales de Slipher à propos de l'univers en expansion, sans beaucoup de détails, alors que ce point est important dans la compréhension des relations entre théorie cosmologique et observations. Plus loin[21] l'auteur déclare que de Sitter n'a pas utilisé les données de Slipher pour vérifier son travail, mais que Wirtz les possédaient. En réalité nous verrons que de Sitter disposait, dès 1917, des résultats de Slipher. Pour sa part Wirtz, de nationalité allemande et du fait de la guerre, n'avait eu connaissance que de la première mesure, celle de la nébuleuse d'Andromède. Hetherington[22] s'est aussi intéressé aux travaux de Slipher dans un travail sur les rotations des spirales. Le caractère incomplet de son accès aux sources le conduit à des interprétations trop simplifiées, notamment de l'origine des travaux de Slipher sur les nébuleuses.

Robert Smith[23] a publié l'ouvrage le plus complet sur le passage des nébuleuses aux galaxies et présente de façon assez précise l'apport de Slipher. Les relations entre Slipher et d'autres personnages importants méritent cependant quelques mises au point. La découverte

---

[17] Ibid p 109

[18] Ibid p 119

[19] Ibid p 146 et pp 151-152

[20] Ibid p 195

[21] Ibid p 198

[22] (Hetherington, 1975)

[23] (Smith, 1982)

des vitesses radiales[24] est bien exposée, les faits sont exacts mais certaines interprétations concernant Slipher méritent discussion. Ainsi pour Smith, le programme de travail aurait été celui de Lowell et non celui de Slipher . Nous verrons que Lowell était intéressé par une éventuelle rotation des nébuleuses mais que c'étaient les planètes qui faisaient l'objet de toutes ses préoccupations. Les archives en témoignent avec, en particulier, l'absence de réaction de Lowell aux informations sur les nébuleuses que lui prodiguait régulièrement Slipher dans ses lettres, contrastant avec une constante et importante préoccupation pour les sujets planétaires.

L'incrédulité de Campbell quant à la grande vitesse radiale est une interprétation, à notre sens erronée, d'une lettre tronquée et sortie de son contexte que rétablit l'analyse complète des relations épistolaires entre les deux hommes.

Smith signale assez brièvement la détection des rotations[25] des nébuleuses spirales par Slipher, problème important qui a fait débat entre Slipher, Hubble et Lindblad.

L'ouvrage de Michael Crowe[26] rapporte très brièvement et d'une façon strictement factuelle les principales découvertes de Slipher. Son principal avantage est de contextualiser l'ensemble des travaux portant sur les connaissances de l'univers depuis ceux de William Herschel jusqu'à ceux de Walter Baade datant des années 1950.

Ainsi, ces ouvrages de synthèse nous ont apporté une information de qualité sur le problème du passage du concept de nébuleuses à celui de galaxies. Néanmoins plusieurs questions importantes restent incomplètement éclairées ou peuvent faire l'objet d'interprétations différentes à la lumière de l'étude complète des archives. En outre la question des conditions de l'apparition d'une astronomie extragalactique n'est pas abordée explicitement par ces ouvrages. Enfin, les apports de Slipher, tels que nous les explicitons et analysons dans notre thèse, et que nous considérons comme majeurs, ne font pas l'objet d'un traitement précis et approfondi.

Nous avons par ailleurs aussi interrogé les travaux, plus rares, des philosophes et historiens des sciences. Jacques Merleau-Ponty n'aborde le sujet que dans son ouvrage

---

[24] Ibid pp 17 à 21

[25] Ibid p 3

[26] (Crowe, 1994)

consacré principalement à la cosmologie théorique[27]. Helge Kragh s'intéresse aux controverses sur les théories de l'Univers. Le rapport à la cosmologie observationnelle n'intervient que dans une brève introduction historique[28] où sont abordés, principalement à l'aide de sources secondaires, les travaux de Slipher sur les vitesses radiales ainsi que ceux de Hubble. Dans l'ouvrage co-dirigé par John Krige et Dominique Pestre, Karl Hufbauer[29] aborde l'astronomie au XXe siècle. Il fait référence à Slipher comme fournisseur de vitesses radiales à Hubble.

Pour l'étude du contexte social de ces travaux nous avons beaucoup utilisé l'ouvrage de Lankford[30] qui retrace l'histoire de la communauté des astronomes américains et de leurs carrières au cours des XIXe et XXe siècles ainsi que celui de Pyenson et al. [31]

Pour analyser le contexte dans lequel l'objet scientifique « galaxies » s'est développé nous avons interrogé les travaux de Thomas Kuhn et la notion de changement de paradigme mais aussi ceux, plus récents, qui abordent l'évolution des connaissances en utilisant les concepts de modèles et de modélisation. Nous nous sommes aussi inspirés des publications de Karl Popper, mais surtout de celles de Ian Hacking, Gaston Bachelard, Norwood Russel Hanson pour ce qui concerne le problème de l'observation. Finalement, pour l'objet étudié, le concept de « modèle » nous a semblé intéressant à explorer à travers plusieurs travaux récents, en particulier ceux de A.-F. Schmid et J.-M.Legay mais aussi de N. Hanson, P. Nouvel, R. Fugg.

Notre travail se présente en trois parties. La première présente le travail principal avec trois chapitres. Le premier décrit le travail de Slipher et son apport scientifique dans le domaine des débuts de l'astrophysique extragalactique jusqu'à Hubble. Le second est une réflexion sur les aspects épistémologiques et sociologiques destinée à éclairer l'innovation conceptuelle qu'entraînent les travaux de Slipher et enfin le troisième étudie le contexte dans lequel l'astrophysique extragalactique a pu se développer. La seconde partie présente les documents d'archives concernant les travaux de Vesto Slipher. Enfin le volume d'annexes est

---

[27] Il cite brièvement Vesto Slipher p 16 : « les principaux astronomes associés à sa recherche [de Hubble] furent d'abord Slipher, qui avait succédé en 1916 à Lowell à la direction de l'observatoire de Flagstaff dans l'Arizona et qui resta jusqu'en 1928 l'unique pourvoyeur de Hubble en spectrogrammes de galaxies et en mesures de vitesses radiales. ».

[28] Le paragraphe intitulé « Early observational Cosmology p 14-21. (Kragh, 1999)

[29] (Hufbauer, 2003)

[30] (Lankford and Slavings, 1997)

[31] (Pyenson and Sheetts-Pyenson, 1999)

destiné à contextualiser les travaux de Slipher au sein de ceux de ses collègues et à apporter des éclaircissements nécessaires aux non-astronomes.

4. Histoire précoce des nébuleuses.

Dans cette introduction[32], nous tentons de décrire l'évolution des conceptions des astronomes sur les nébuleuses, depuis leur identification, afin que le lecteur ait une idée des connaissances et des questions posées par ces objets au moment où débutent les travaux de Vesto Slipher. La plus longue période, celle qui précède l'essor de la spectroscopie, n'est faite que d'observations et de la réalisation de catalogues, ce qui n'empêche pas la formulation d'hypothèses, notamment par des philosophes de la nature comme Kant et des mathématiciens comme Laplace. La seconde partie, plus courte, relate les débuts de la spectroscopie et ses premières applications aux nébuleuses.

4.1. Les premières observations, avant la spectroscopie.

4.1.1- L'observation des nébuleuses à l'œil nu.

Pendant de longs siècles les astronomes ont multiplié les observations sur les étoiles mais aussi les « astres errants » qui, visibles à l'œil nu, se limitaient alors à Mercure, Vénus, le Soleil, la Lune, Mars, Jupiter et Saturne. Ces objets célestes se déplacent sur un fond d'étoiles immobiles que l'on croyait réparties sur une sphère de cristal appelée pour cela sphère des fixes.

La première nébuleuse spirale, la nébuleuse d'Andromède, est décrite par Abd-al-Rahman Al Sufi (903-986) , un astronome persan. Il décrit également le Grand Nuage de

[32] Pour une étude détaillée de cette période, voir l'annexe 1.

Magellan qu'il appelle al Bakr : le bœuf blanc. Les nuages sont observés un peu plus tard par Amérigo Vespucci (1451-1512) vers1503-1504 et enfin par Magellan (1480-1521) en 1519. Beaucoup plus récemment ; dans son catalogue *Uranometria nova*, Friedrich Argelander (1799-1875) donne une liste de nébuleuses ou d'amas stellaires observés à l'œil nu.

4.1.2.-Les observations télescopiques de Galilée à John Herschel.

C'est Galilée[33] qui a utilisé le premier une lunette pour observer le ciel. Dans « *Le Messager céleste* » il parle brièvement de nébuleuses qu'il considère comme des amas d'étoiles, notamment dans la « tête d'Orion » et Praesepe.[34]. Les astronomes vont progressivement et systématiquement observer tous les objets célestes avec ce nouvel instrument. Parmi tous ces objets certains restent imprécis. Ce sont des taches floconneuses, non scintillantes et fixes comme les étoiles, que tout naturellement on appelle nébuleuses. Cependant l'utilisation de la lunette va permettre de séparer, parmi les nébuleuses définies ainsi à l'œil nu, des nébuleuses qui le restent à la lunette et d'autres que cet instrument permet de classer en amas d'étoiles, comme les Hyades, les Pléiades ou Praesepe.

Simon Mayr ou Marius (1573-1624) astronome, mathématicien à la cour du margrave de Culmbach, qui avait travaillé avec Tycho Brahé, redécouvre la nébuleuse d'Andromède à l'œil nu le 15 décembre 1612, puis avec une petite lunette.

L'astronome italien **Giovanni Batista Hodierna** (1597-1660) est le premier à tenter de classer les nébuleuses. Il classe ces objets en trois catégories: « *luminosae* » : étoiles visibles à l'œil nu ; « *nebulosae* » : nébuleuses résolues en étoiles par une lunette et « *occultae* » : nébuleuses non résolues par la lunette. Il décrit de nombreux amas mais également la nébuleuse d'Andromède et celle d'Orion.

Edmond Halley étudie, en 1715, six nébuleuses et **John Flamsteed** (1646-1719) observe pour sa part seize nébuleuses.

Charles Messier[35] (1730-1817) est le premier astronome à faire une recherche systématique des nébuleuses. Son premier catalogue est publié dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences* en 1774[36] sous le titre de « *Catalogue des nébuleuses et des amas*

---

[33] (Drake et al., 1990)

[34](Galilée, 1989) p 27-28.

[35] (Cook, 1998)

[36] (Messier, 1774) puis plus tard (Messier, 1780), (Messier, 1781;Messier, 1797) et (Messier, 1798)

d'étoiles que l'on découvre parmi les étoiles fixes, sur l'horizon de Paris. Observées à l'Observatoire de la Marine avec différents instruments. » Les observations de Messier montrent que les nébuleuses sont bien des objets dépourvus de forme précise mais qui également ne possèdent pas de mouvements propres observables, ce qui les distingue des comètes. Il faut aussi signaler que Pierre Méchain (1744-1804), contemporain de Messier a découvert vingt-neuf objets dont il a communiqué les observations à Messier[37].

Les grands astronomes amateurs[38] : William Herschel et William Parsons, Lord Rosse.

L'étude systématique du ciel et en particulier des nébuleuses marque un tournant dans cette période charnière entre le XVIIIe et le XIXe siècles. En effet les observations deviennent précises, tant dans la position des astres que dans leur description. De plus, une véritable réflexion sur leur nature se fait jour avec l'élaboration de classifications et d'hypothèses sur leur constitution.

William Herschel (Clerke, 1901) s'attache en effet à une étude systématique des nébuleuses. Avant lui, les instruments ne permettent pas d'identifier très clairement des catégories au sein de ce groupe d'objets. Dans un premier temps, Herschel fait l'hypothèse que toutes sont des amas d'étoiles. Il observe en effet des groupements d'étoiles de forme qu'il estime sphérique : les amas globulaires. D'autres groupements n'ont pas de forme définissable (ce sont les amas ouverts d'aujourd'hui). Enfin il reste des nébuleuses dans lesquelles il n'observe pas d'étoiles. Nous résumons ici ses principales observations et les conclusions qu'il en tire et qui varient au cours du temps[39].

Il commence ses balayages du ciel – « Sweeps of the heavens »- au cours de l'année 1783. Son premier catalogue est lu à la *Royal Society* le 27 avril 1786 et publié la même année. Les nébuleuses sont classées en cinq catégories, la classe 1 correspondant aux plus brillantes. Les amas stellaires suivent. La colonne suivante donne les dates d'observation, puis l'étoile qui a permis la localisation suivie d'une notation selon que la nébuleuse précède ou suit l'étoile. La colonne suivante précise le nombre de degrés et de minutes qui séparent l'étoile de la

---

[37] (Méchain, 1786)

[38] Le terme d'amateur signifie ici que ces astronomes n'avaient pas reçu de formation universitaire. Cependant leur expérience, les excellents résultats de leurs observations en faisaient des astronomes à part entière, qualité que leurs contemporains ne discutaient pas. Pour plus de précision voir l'annexe 1.

[39] Pour plus de précisions voir l'annexe 1. Pour les définitions actuelles de ces objets, voir le glossaire de l'annexe 9.

nébuleuse. Une colonne donne le nombre d'observations réalisées pour cet objet. Suit une classification morphologique très complète qui précise la luminosité, la forme, le caractère résoluble ou non en étoiles, la présence ou non d'un noyau…

William Herschel assimile en 1786, toutes les nébuleuses à des amas stellaires. Un second catalogue est présenté à la Royal Society le 11 juin 1789. Il rajoute un millier de nébuleuses et annonce, dès le titre, des remarques sur la « construction des cieux ». Il y a d'abord les planètes et les comètes qui n'ayant pas de luminosité propre ne font que réfléchir la lumière du Soleil. Les étoiles, autres soleils, s'associent à des systèmes planétaires. Selon son analyse, ces étoiles sont rassemblées dans des systèmes séparés. Le système le plus simple et le plus fréquemment rencontré est l'amas globulaire, amas sphérique d'étoiles de magnitudes différentes mais assez proches les unes des autres, liées par la gravitation et situé à une très grande distance du système solaire, mais il y a aussi des amas d'étoiles de formes inclassables. Herschel passe ensuite aux nébuleuses, qui contiennent une condensation ou une augmentation de luminosité en un point. À cette époque il considère que toutes les nébuleuses sont probablement des amas stellaires.

C'est en 1802[40] qu'il publie un complément de 500 nouvelles nébuleuses dans lequel il sépare plus nettement les nébuleuses, les étoiles nébuleuses[41], les nébuleuses planétaires[42] et les amas stellaires. Dans son introduction il précise qu'il est temps pour lui de reconsidérer sa classification. : «But here, in dividing the different parts of which the sidereal heavens are composed into proper classes, I shall have to examine the nature of the various celestial objects that have been hitherto discovered, in order to arrange them in a manner most comfortable to their construction. »

Après le temps des observations et des catalogues, aussi bien d'étoiles que de nébuleuses, vient celui de la réflexion basée sur ces données et la construction d'une cosmogonie et d'une cosmologie. Le 24 février 1814 Herschel présente à la *Royal Society* un article où il expose plus précisément ses conceptions de l'Univers. Bien que Herschel ne le fasse pas de façon formelle il est possible tirer des conclusions de cette importante présentation.

---

[40] Archives Herschel WH. 4/28.1

[41] Ce sont, pour Herschel, des étoiles dont les contours sont flous et pour lesquelles il estime qu'elles peuvent être entourées d'une « atmosphère ».

[42] Il appelle ainsi des formations circulaires de faible éclat apparent dont certaines semblent avoir un centre. Herschel ne décide pas de leur nature.

Les étoiles naissent de la matière nébuleuse et peuvent grossir en la captant. Plusieurs étoiles peuvent se former ensemble au sein d'une nébuleuse. Par rapport au mémoire de 1785, Herschel admet l'existence de nébuleuses « vraies » non formées d'étoiles mais formées d'une matière identique à celle qui compose le Soleil, donc chaude.

Les amas stellaires évoluent en se condensant et les amas les plus irréguliers se condensent progressivement en amas de plus en plus globulaires qui représentent ainsi la phase la plus avancée de la concentration des étoiles.

Admettre l'évolution des structures lui fait penser que l'univers visible, tel qu'il le conçoit comme un tout, a eu un début et aura une fin, sans qu'à aucun moment Herschel ne précise ce que pourraient être ce début et cette fin.

Enfin, estime-t-il, il persistera toujours des objets ambigus, quelle que soit la puissance des télescopes, bien que ces instruments permettront sans doute d'en résoudre d'autres et de découvrir de nouveaux objets dont certains, à leur tour, ne seront pas résolus en étoiles. À ce propos Herschel sépare ce qu'il nomme « la pénétration dans l'espace », c'est à dire l'aptitude du télescope à voir des objets plus lointains et qui dépend de la taille du miroir et le grossissement de l'objet examiné, lié à la focale de l'oculaire utilisé[43].

À la fin de sa vie, en 1818, William Herschel propose un nouveau mémoire à la *Royal Society* qui précise ses conclusions les plus récentes sur la constitution de l'Univers. Malgré son puissant télescope de 40 pieds (1,2 m d'ouverture), il constate qu'il ne peut résoudre certaines nébuleuses en étoiles et qu'il ne sait pas en préciser la nature. Ainsi, pour lui, ces nébuleuses sont à l'intérieur de la configuration de ce qu'il estime être la Galaxie. Il abandonne l'hypothèse que ces nébuleuses puissent correspondre toutes à des amas d'étoiles.

Un autre astronome amateur, **William Parsons**, **Lord Rosse**[44] franchit une nouvelle étape. Il exprime l'intention d'utiliser ses observations pour préciser la nature de ces nébuleuses. La structure spirale est observée pour quatorze des objets présentés. Lord Rosse estime que ces objets sont différents des autres amas stellaires connus.

[43] En fait ces deux caractéristiques sont liées. Voir l'annexe 9.

[44] (Rosse, 1926)

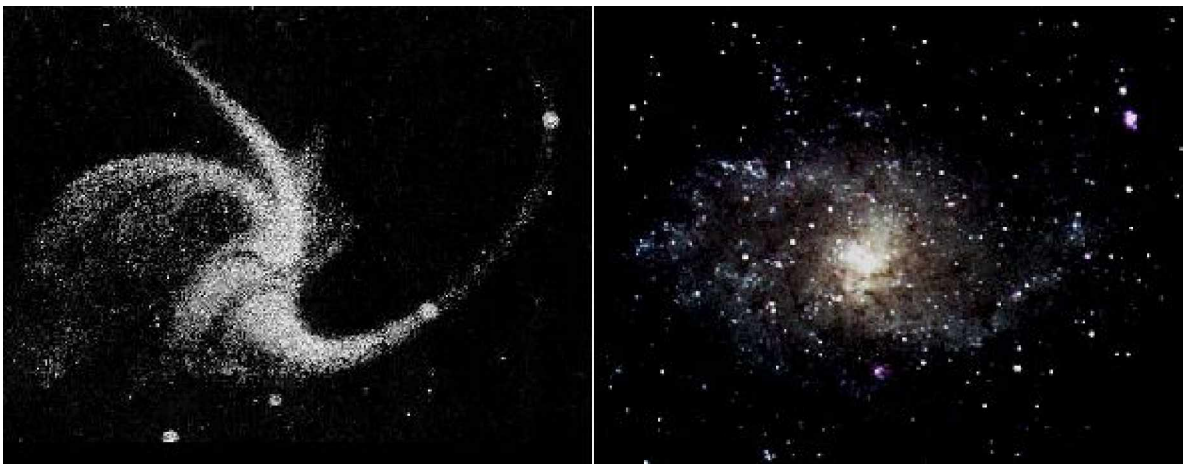


Figure 1 : Messier 33 par Lord Rosse et une photographie actuelle.

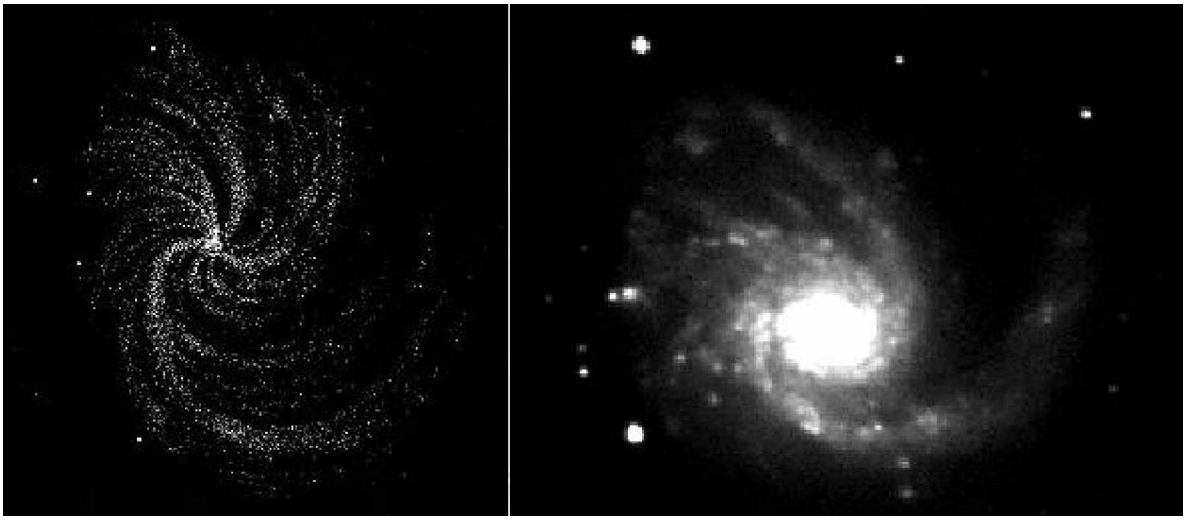


Figure 2 : Messier 99.

John Herschel (1792-1871) poursuit l'œuvre de son père. Dans le domaine qui nous intéresse ici, celui des nébuleuses, trois sujets intéresseront John Herschel[45]. Il poursuit bien sûr le catalogue de nébuleuses et d'amas stellaires dressé par son père, mais développe aussi la spectroscopie et la photographie. Il publie un complément au catalogue en 1823, ainsi qu'une monographie sur la nébuleuse d'Andromède. En 1834, il part deux ans au Cap de Bonne Espérance pour étudier le ciel austral. Il publiera un nouveau catalogue de 1 707 objets. Il est le premier à montrer sur des cartes la condensation des nébuleuses aux pôles et leur absence près de la Voie Lactée. Il montre aussi que les Nuages de Magellan contiennent

[45] Voir en particuler M. Crowe. Chapitre 4. Op . Cit.

l'ensemble de tous les types d'objets examinés dans le reste du ciel. Ses deux ouvrages *Treatise on Astronomy* et *Outlines in Astronomy* auront un fort succès dans les milieux astronomiques aussi bien que parmi les amateurs éclairés.

4.1.3. Les théoriciens, de Descartes à Laplace.

À coté des observateurs, dès le XVIIe siècle, des philosophes tentent de reconstituer une cosmologie qui tienne compte à la fois des découvertes récentes, en particulier celles de Newton, et des possibilités du raisonnement.

René Descartes (1596-1650) écrit le *Traité du Monde et de la Lumière*, terminé en 1633 mais publié après sa mort. Il ne parle des nébuleuses que pour les assimiler aux étoiles. Ses conceptions n'ont pas influencé les astronomes qui travaillèrent au début du XXe siècle sur les nébuleuses spirales et qui ne le citent pas.

Thomas Wright (1711-1789)[46] estime que les nébuleuses sont des systèmes d'étoiles, extérieurs à notre univers, c'est à dire extérieurs à ce qui pour lui est la Voie Lactée.

Emmanuel Kant (1724-1804) publie en 1775 sa T*héorie du ciel*[47] dans laquelle il décrit la Galaxie comme un amas d'étoiles en forme de disque aplati, dont la partie centrale comporte une forte condensation d'étoiles dont la densité diminue vers les bords du disque. Les nébuleuses ont, pour Kant, la même structure, cependant que leur forme devient elliptique en même temps que croît leur inclinaison. Leur grande distance explique que les étoiles ne puissent être individualisées au télescope. Kant suppose même l'existence d'amas de galaxies : « On pourrait encore supposer que ces mêmes ordres de mondes ne sont pas sans relations entre eux, qu'ils forment à leur tour par ce rapport réciproque un système encore plus immense. » Kant ne prononce jamais le nom d'univers-îles. Ce qualificatif sera donné par Alexandre de Humboldt (1769-1859), dans son ouvrage *Cosmos*.

La présentation de la conception de la formation du système solaire représente une part importante de l'ouvrage de Kant. Elle fait partie des conceptions que les astronomes du temps de Slipher ont présent à l'esprit et qui les influenceront dans la formulation de leurs propres hypothèses. Cette conception fait appel à la théorie de la gravitation de Newton ainsi qu'aux forces de répulsion des plus petites particules de matière. Au sein d'un amas au repos et

[46] (Wright, 1750)

[47] (Kant, 1984). Pour une analyse de l'ouvrage de Kant, on peut consulter l'annexe 1.3

hétérogène, les particules les plus fines sont attirées par les plus grosses. La combinaison des deux forces induit un mouvement de rotation. Le jeu des attractions va réunir des corps massifs, les planètes, autour du plus volumineux d'entre eux, le Soleil, tandis que des formations plus petites, les satellites, éloignées de la masse centrale tournent autour des planètes. Les comètes, encore plus éloignées, échappent à ces orbites bien régulées et adoptent des orbites irrégulières[48].

Johann Heinrich Lambert (1728-1777), qui a lu Kant, propose dans ses *Lettres cosmologiques* [49] un modèle complexe où la Galaxie serait formée d'agrégats d'étoiles en rotation d'abord autour d'une masse centrale. Raisonnant par analogie, il imagine également un centre massif pour l'univers. Il adopte la position de Kant sur les nébuleuses et ne rajoute rien au point de vue de ce dernier.

Pierre-Simon de Laplace aborde une présentation de l'Univers dans son ouvrage «*L'Exposition* du *système du Monde* »[50] publié pour la première fois en 1796 puis remanié jusqu'en 1846. Parlant des nébuleuses, Laplace déclare clairement que leurs étoiles sont groupées en ensembles comme notre Voie Lactée « ...Il est donc probable que, parmi les nébuleuses, plusieurs sont des groupes d'un très grand nombre d'étoiles, qui, vues de leur intérieur, paraîtraient semblables à la Voie Lactée ». Celles-ci représentent un groupe d'étoiles formées au sein d'une nébuleuse primitive et les étoiles doubles se sont formées dans des nébuleuses possédant deux noyaux. Il ne dit rien de leur position par rapport à la Galaxie.

Laplace développe, comme Kant, une hypothèse sur la formation du système solaire, fort importante puisque Vesto Slipher et ses collègues y feront référence dans leurs premières publications sur les nébuleuses spirales[51]. Cette citation résume assez bien son point de vue : « *Dans l'état primitif où nous supposons le Soleil, il ressemblait aux nébuleuses que le télescope nous montre composées d'un noyau plus ou moins brillant, entouré d'une nébulosité qui, en se condensant à la surface du noyau, le transforme en étoile. Si l'on conçoit, par analogie, toutes les étoiles formées de cette manière, on peut imaginer leur état antérieur de nébulosité précédé lui-même par d'autres états dans lesquels la matière nébuleuse était de plus en plus diffuse , le noyau étant de moins en moins lumineux* ».

---

[48] Voir annexe 1.3 pour plus de précisions.

[49] (Lambert, 1761)

[50] (Laplace, 1878), (Gillispie et al., 1997)

[51] L'annexe 4 décrit en détail les points de vue de Laplace ainsi que la diffusion de ses idées, en particulier par Daniel Kirkwood (1814-1895).

François Arago[52] a rédigé une *Astronomie populaire* qui ne sera éditée qu'après sa mort. Dans cet ouvrage, sa description des nébuleuses est directement inspirée de William Herschel.

Ainsi, vers 1850, les nébuleuses restent une entité mal comprise. L'hypothèse des univers-îles est contrecarrée par l'extension aux nébuleuses de la conception de Laplace sur la genèse des systèmes planétaires. Leur étude pose deux problèmes corrélés, celui de leur nature et celui de leur position. C'est de loin la première question qui passionne le plus les astronomes. Dans ce groupe se trouvent John Herschel, Laplace et Arago qui voient dans la réalité de la matière nébuleuse un point de départ pour développer des études sur la formation de l'Univers. À l'inverse le second problème suppose que l'on puisse mesurer des distances hors du système solaire avec une précision suffisante, ce qui n'est pas encore le cas. Rappelons qu'en ce qui concerne les étoiles[53] c'est en 1838 que Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) mesure les premières parallaxes stellaires et que cette technique de mesure se limite aux étoiles proches. Aucune parallaxe de nébuleuse ne sera mesurée avec fiabilité[54]. C'est dans cette quête des mesures des distances des nébuleuses spirales que travailleront plusieurs astronomes américains.

Un nouveau chapitre de l'astronomie s'ouvre avec la construction de télescopes plus puissants et l'apparition de nouvelles techniques comme la spectroscopie et la photographie. Ces perfectionnements vont permettre d'affiner les connaissances des nébuleuses.

---

[52] (Université de Perpignan, 1987)

[53] Pour l'historique des mesures de parallaxes stellaires on peut consulter M. Crowe (op. Cit.) ou l'ouvrage de A. Hirshfeld (Hirshfeld, 2001)

[54] Nous verrons que certains, comme Bohlin, penseront pouvoir en mesurer. En réalité cette méthode ne peut être appliquée aux nébuleuses spirales, trop éloignées.

4.2. Les débuts de l'astrophysique des nébuleuses.

Après les premiers travaux sur le spectre solaire par Joseph Fraunhofer (1787-1826), ce sont ceux de Gustav Kirchhoff (1824-1887) et Robert Bunsen (1811-1899) qui vont permettre aux astronomes d'appliquer la spectroscopie à l'étude physique des objets célestes[55]. Le premier objet d'étude, le plus facile à étudier, est d'abord le Soleil puis, très rapidement les étoiles très lumineuses. Les nébuleuses, infiniment moins brillantes, échappent d'abord à ce type d'étude.

4.2.1. Les études spectroscopiques des nébuleuses: des spectres différents d'une forme à une autre.

Un des problèmes posé par les nébuleuses reste celui de leur structure: s'agit-il d'agglomérations importantes d'étoiles comme le suggère l'hypothèse des univers-îles ou, au contraire, de nuages de gaz, précurseurs de systèmes solaires en formation ? Les spectroscopistes vont tenter de résoudre cette question à partir des lois de Kirchoff et Bunsen. En effet, s'il s'agit d'étoiles, on doit observer un spectre d'absorption, au contraire, un nuage de gaz devrait donner un spectre de raies en émission. Ainsi, le fait de trouver un spectre d'absorption, comme celui des étoiles, dans une nébuleuse sera en faveur de sa constitution stellaire. Il ne sera cependant pas possible, avec ce seul critère, de trancher entre l'hypothèse des amas stellaires et celle d'une nébuleuse proto-stellaire, les deux spectres étant de même nature.

Le domaine de la spectroscopie des nébuleuses qui sera celui de Vesto Slipher est ouvert principalement par trois personnages : l'Anglais William Huggins (1824-1910), les Allemands Julius Scheiner (1858-1913) et Max Wolf (1863-1932).

[55] Voir l'annexe 2 pour une histoire de la spectroscopie et des références bibliographiques..

William Huggins est l'un des premiers à utiliser en astronomie les connaissances développées en spectroscopie.

Le 28 août 1864, cet astronome amateur dirige son télescope muni d'un spectroscope à un seul prisme sur la nébuleuse du Dragon[56]. Il s'attend à trouver le spectre stellaire habituel[57]. Au lieu de cela, à sa grande surprise, il observe une raie brillante unique. Il pense alors à une erreur instrumentale et vérifie son appareil, mais comme tout fonctionne normalement il en conclut que le spectre de cette nébuleuse est monochromatique. Il utilise alors deux prismes et observe alors trois raies séparées par des espaces sombres. Il constate que cette nébuleuse n'est pas un ensemble d'étoiles mais un gaz lumineux. Il étudie ensuite la nébuleuse d'Orion qui lui montre un aspect semblable. Il s'attache alors à analyser la nature des corps chimiques qui produisent ces raies. Il observe qu'elles correspondent pour l'une d'entre elle au « nitrogène », l'azote, la dernière à la raie de l'hydrogène[58] et celle du milieu à une substance inconnue sur Terre.

- La raie qu'il suppose être due à l'azote est comparée à un spectre donné par une étincelle qui se produit dans un tube scellé contenant de l'azote pur à une pression légèrement inférieure à la pression atmosphérique. La raie observée dans la nébuleuse se trouve à la même position que celle du spectre à étincelle[59]. Cependant, dans ce dernier cas, la raie est dédoublée et elle est plus large. Pensant qu'il s'agit d'un problème d'intensité lumineuse, il compare ensuite le spectre de la nébuleuse à celui de l'air. Ici la raie de l'azote est unique et à peine plus large que celle de la nébuleuse. Avec un spectrographe de plus grande résolution spectrale il cherche à dédoubler la raie de la nébuleuse mais sans succès. Il répètera les expériences à de nombreuses reprises pour conclure qu'il existe bien une raie du « nitrogène » dans le spectre des nébuleuses « gazeuses ». La coïncidence entre la raie de la source témoin et celle de la nébuleuse est, selon Huggins, de 0,02 divisions du micromètre qui correspondent à une différence de longueur d'onde de 0,046 millionièmes de millimètres[60]. La question de cette raie double dans le spectre d'étincelle et simple dans le spectre des nébuleuses l'intrigue. Bien que Plücker (cité par Huggins) ait précisé que le spectre double pouvait devenir simple pour

---

[56] Il s'agit d'une nébuleuse planétaire. Voir annexe 9.3. au mot « nébuleuses ».

[57] (Huggins, 1864)

[58] Ibid.

[59] La décharge qui produit l'étincelle est obtenue grâce à deux bouteilles de Leyde.

[60] La notation en Angström ne sera courante qu'autour de 1924. Il est intéressant de noter que les mesures sont parfois encore, en France, exprimées en « pouce de Paris », mais de plus en plus souvent en mètres. Voir l'article de Piazzy-Smyth (Piazzy-Smyth, 1880)

l'œil lorsque l'intensité est faible, Huggins penche en 1868 plutôt vers un spectre différent dans les nébuleuses. Le père Secchi[61] observant la nébuleuse annulaire de la Lyre observe lui un spectre dédoublé mais Huggins pense que ce dédoublement est lié aux deux bords de l'anneau.

- La « troisième » raie correspond à la raie F de Fraunhofer. Huggins utilise un tube scellé rempli d'hydrogène et s'assure de la véracité de son hypothèse.

- Reste la raie du milieu qui est inconnue. Elle est très proche de la raie de l'oxygène et un peu plus loin de la raie du baryum mais sa vrai nature reste inconnue. Elle se situe dans le vert. Il la nomme raie du Nebulium.

La seconde question qu'il se pose est celle de l'absence des autres raies qu'il observe, par exemple, dans l'air atmosphérique. Les raies visibles ne sont peut être que les plus brillantes, les autres n'ayant pas pu atteindre la Terre du fait d'une extinction. C'est par le raisonnement qu'il essaie de résoudre ce problème. Pour lui, cette extinction devait être due à de la matière interstellaire telle qu'elle avait été imaginée par Chéseaux (1718-1751) puis plus près de Huggins par Olbers (1758-1840) et Struve (1819-1905). Il ne semble pas convaincu par cette hypothèse.

La troisième question qu'il soumet à l'expérience est celle des vitesses radiales des nébuleuses, recherchées par l'effet Doppler-Fizeau. Il n'observe pas de décalage des raies spectrales mais estime que son appareillage ne lui permet pas de les mesurer. Il ne conclut pas formellement à l'absence de mouvement mais estime que, s'il existe, il est inférieur à 10 miles/s (16 km/s) si elles s'éloignent et de 20 à 25 miles/s si elles se rapprochent[62].

En 1872 des améliorations techniques lui permettent de découvrir quatre raies dans la nébuleuse d'Orion. La plus intense est à 5000 Å, elle correspond à une raie de l'azote. Une autre raie est située à 4957 Å. Les deux autres correspondent aux raies Hβ (F) et à Hγ. Il complète ses travaux par l'étude photographique du spectre de la nébuleuse d'Orion le 7 mars 1882. Cela lui permet d'observer le spectre jusque dans l'ultraviolet. Il découvre ainsi une raie très intense dans l'ultraviolet, à une longueur d'onde encore approximative de 3730 Å. Le fond comporte aussi un spectre continu qu'il attribue à la présence des étoiles du Trapèze d'Orion situées dans la nébuleuse.

---

[61] (François, 1879)

[62] (Huggins, 1873)

En 1868 il avait déjà examiné plus de 70 nébuleuses dont environ un tiers possèdent des raies brillantes dans leur spectre, le plus souvent au nombre de trois et où domine la couleur verte. Les autres nébuleuses sont les nébuleuses « blanches » dont le type est la Grande Nébuleuse d'Andromède. Il observe que son spectre est faible mais continu. Huggins applique aussi la photographie pour étudier le spectre de ces dernières. Cela lui permet d'observer en 1888, dans la nébuleuse d'Andromède, deux raies de Fraunhofer, les raies G (4308 Å) et H (3969 Å). Il doute cependant de la réalité de cette observation, pensant qu'il pourrait y avoir eu contamination de sa plaque photographique par d'autres sources de lumière au cours des manipulations. Il ne publie donc pas ce résultat et n'en parle qu'après la publication de Max Wolf que nous verrons plus loin.

À cette période, après avoir d'abord été persuadé de la nature gazeuse des nébuleuses, y compris celle d'Andromède, et donc en faveur de l'hypothèse nébulaire de Laplace, Huggins se rapproche de la conception de Kant à la lumière de ses travaux sur Messier 31.

En 1899, **Julius Scheiner**[63], qui observe la nébuleuse d'Andromède avec un télescope de 50 cm obtient un spectre après 7h30 de pose. Dans un article reproduit dans l'*Astrophysical Journal* [64], Scheiner indique que le spectre, continu depuis les raies F à H, comporte de fortes raies d'absorption. Le spectre est classé dans le type II de Secchi[65]. Andromède est donc, pour lui, dans un état avancé de développement, si on la compare aux étoiles. Il constate que les raies d'absorption sont de type solaire, sans raie d'émission. Il découvre outre les raies G et H signalées par Huggins, la raie K à 3934 Å. Cette constatation est pour Scheiner un argument en faveur de la structure stellaire de la nébuleuse d'Andromède.

Max Wolf (1863-1932), directeur de l'observatoire Königstuhl de Heidelberg en Allemagne, consacre également une partie de son temps à l'acquisition des difficiles spectres des nébuleuses. Il décrit un spectre d'absorption dans la nébuleuse Messier 31. Il a publié seize listes de nébuleuses avec plus de 6 000 objets dont la plupart n'étaient pas référencés dans le catalogue N.G.C.[66]

---

[63] (Scheiner, 1899b)

[64] (Scheiner, 1899a)

[65] Il s'agit de la classification spectrale de Angelo Secchi qui comporte quatre puis cinq classes. Voir annexe 2.2.

[66] N.G.C. New General Catalog de Dreyer. Il remplace le General Catalog des Herschel.

Ainsi, les premiers travaux des spectroscopistes permettent de distinguer deux sortes de nébuleuses. Celles où il existe un spectre de raies en émission sont qualifiées de gazeuses ou « green nebulae » et celles qui ont principalement des raies d'absorption définies comme stellaires (« white nebulae »). Ces dernières peuvent être de forme stellaire ou non.

4.2.2. Les premiers travaux américains et le rôle de l'observatoire Lick.

Les travaux sur les raies des nébuleuses gazeuses sont poursuivis aux États-Unis, à l'observatoire Lick par William H. Wright (1836-1915) et James Keeler (Osterbrock, 1984). Ils portent principalement sur l'identification de raies encore inexpliquées mais aucun d'eux n'apporte de solution décisive à cette question soulevée déjà par Huggins et par Scheiner. Ils n'étudient pas le spectre des « *nébuleuses blanches* », de type spiral[67] mais, dans cet observatoire, c'est un autre astronome**,** E.A. Fath (1880-1959) qui se consacre à ce thème de recherche.

Sa thèse[68], qui porte sur ce sujet, est publiée dans le bulletin de l'observatoire de Lick en 1909. Il consacrera ensuite une partie de son activité scientifique à l'étude des nébuleuses spirales et des amas globulaires dont il compare les spectres. Il propose l'hypothèse que les nébuleuses spirales pourraient être aussi des amas d'étoiles.

Dans son premier travail[69] il utilise le télescope Crossley. Le spectrographe est composé d'un collimateur de 54 mm d'ouverture avec une longueur focale de 315 mm. Le prisme, de flint, possède un angle au sommet de 30°. L'appareil photographique, dont l'objectif est de 51 mm, a une focale de 155 mm. La fente mesure 0,08 mm. Le spectre de comparaison est celui de l'hydrogène obtenu à partir d'un tube qui en est rempli. Les photographies sont réalisées sur des plaques *Lumière sigma* . Le spectre obtenu est de très petite taille : il mesure 3,3 mm pour des longueurs d'onde s'étendant de 3727 Å à 5007 Å; il doit être observé au microscope. Fath observe d'abord huit nébuleuses considérées comme spirales à partir des observations de W. et J. Herschel et de Lord Rosse . Elles viennent d'être

[67] Les nébuleuses de type gazeux sont appelées « nébuleuses vertes ».

[68] (Fath, 1909c) et (Fath, 1909b)

[69] (Fath, 1909a)

photographiées par James E. Keeler avec ce même télescope Crossley et publiées en 1908 dans un album[70].

[70] (Keeler, 1908)

Fig. 1. SOLAR SPECTRUM.

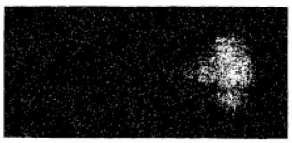


Fig. 2. ANDROMEDA NEBULA.

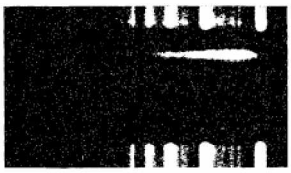


Fig. 3. SPIRAL NEBULA. N. G. C. 1068

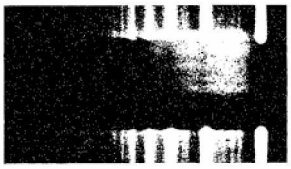


Fig. 4. GLOBULAR CLUSTER. N. G. C. 7078

Enlargement Ten-fold.

Figure 3: Spectres illustrant l'article de Fath de 1909.

N° NGC	Autre nom	Type	Observation
224	Andromède	Spirale	Type solaire
650-1	M76 (Persée)	Spirale selon Rosse	Pas de spectre observé
1023			Raies d'absorption
1068	M77 (Ceti)	Spirale	Raies d'absorption et d'autres brillantes
3031		Spirale	Une raie d'absorption certaine, autres ?
4736		Spirale	Fort spectre continu avec une raie brillante comme celui des étoiles de Wolf-Rayet[71]
5194	Canes Venatici	Spirale	Échec
7331		Spirale	Spectre continu et deux raies d'absorption

Tableau I: Spectre des nébuleuses spirales étudiées par Fath en 1909.

Il compare ces spectres à ceux de quelques amas globulaires, de type stellaire, avec des raies sombres. Il constate d'ailleurs que, dans certains amas globulaires, comme l'amas d'Hercule, Messier 13, les spectres correspondent à deux types spectraux, mais le plus souvent à un seul. Il conclut qu'aucune spirale n'a de spectre continu. Leur spectre varie entre une dominance des raies brillantes comme celles que l'on observe dans les nébuleuses gazeuses et une classe composée uniquement de raies d'absorption de type solaire. Il rappelle que les spectres obtenus ne concernent que la partie centrale, le noyau des spirales et non les bras et qu'en outre les spectres sont peu étalés. Ses hypothèses sur la nature de ces spirales font appel aux lois de Kirchhoff et Bunsen:

1- La matière qui produit les raies doit être comprise entre la source et l'observateur.

2- La source doit être entourée d'une enveloppe gazeuse.

3- Les seuls objets de ce type sont les étoiles.

4- La partie centrale de la Grande nébuleuse d'Andromède doit probablement comporter des étoiles mais est-il raisonnable de supposer que dans un amas condensé nous ne

[71] Ces étoiles ont été décrites par deux français Charles Wolf et Georges Rayet, travaillant à l'observatoire de Paris, en 1867.

devrions avoir que des étoiles d'un type spectral prédominant. C'est possible en effet puisque cet aspect est observé aussi dans les amas globulaires qui, eux, sont résolus en étoiles.

Suit une discussion sur la taille des étoiles qui pourraient composer le centre de la Nébuleuse d'Andromède, si cette hypothèse stellaire était retenue. Pour cela Fath fait appel à la seule mesure de distance disponible à son époque (1907), celle de Karl Bohlin (1860-1939), un astronome suédois. La parallaxe est de 0,17''. Il en conclut qu'avec cette distance, 19 a.l., pour que la nébuleuse ne puisse pas être résolue en étoiles, il faudrait que leurs tailles réelles ne dépassent pas celle des astéroïdes. Cette observation jette un sérieux doute sur l'identité des nébuleuses spirales avec les amas stellaires.

C'est pour cela que Fath continue ses travaux[72]. Il utilise cette fois le télescope de 60 pouces du Mont Wilson. Parmi les nébuleuses spirales qu'il observe, certaines avaient déjà été étudiées au Mont Hamilton (Lick Observatory). Les résultats observés confortent l'hypothèse selon laquelle ces nébuleuses seraient de nature stellaire. Malgré des doutes sur la nature de nébuleuse de NGC 650 et 651, il considère que c'est très probable. Cette nébuleuse déjà étudiée par Huggins en 1866 possèderait, selon cet auteur, une raie brillante à 5010 Å. Par ailleurs Fath y observe sept raies brillantes du type de celles que l'on observe dans les nébuleuses gazeuses. Cependant le spectre est sous exposé, malgré un temps de pose de 10h47m, et aucun spectre continu ne peut être décelé. La nébuleuse NGC 4725 est de type solaire avec des raies F, G, H et K[73]. Quant à NGC 4736, son spectre semble différent de celui qui avait été photographié au Mont Hamilton. Les raies sont nettement de type solaire et aucune raie brillante ne se superpose au spectre continu.

Le raisonnement de Fath est perturbé par le spectre de NGC 650-651 qui diffère de celui des autres spirales. Ses constatations l'amènent à définir cinq types de nébuleuses :

1- Les irrégulières, type Orion possédant des raies brillantes

2- Les spirales probables comme NGC 650-651 ayant des raies brillantes et peu ou pas de spectre continu

3- Les nébuleuses planétaires[74] type NGC 6543 avec des raies brillantes et un spectre continu très marqué.

---

[72] (Fath, 1911)

[73] de Fraunhoffer.

[74] La possibilité, suggérée par W. Herschel, qu'il puisse s'agir d'amas d'étoiles est ainsi invalidée par la spectroscopie.

4- Les spirales typiques type NGC 1068, ayant des spectres de type solaire avec un spectre continu et des raies sombres et quelques raies brillantes

5- Les nébuleuses condensées en étoiles, au moins près de leur centre, avec un spectre de type solaire typique comme dans la grande nébuleuse d'Andromède, NGC 4725 et NGC 4736.

Il ne peut trancher sur l'existence d'un lien évolutif entre ces cinq types de nébuleuses, mais si un tel lien était avéré, le type 5 représenterait, pour lui, le stade ultime de cette évolution.

Un troisième article[75] présente les résultats de travaux continués au mont Wilson. Il confirme ses travaux antérieurs. En particulier les nébuleuses nettement spirales ont toutes un spectre de type solaire. Dans ses travaux récents il s'est efforcé de définir un type spectral analogue à celui constitué par Edward Pickering (1846-1919) à Harvard pour les étoiles[76]. La plupart des spectres correspondent à celui d'étoiles de type G ou K.

Fath considérait, dans son article, que les spectres de J. Scheiner étaient de mauvaise qualité. En 1909, J. Scheiner lui réplique : « He thinks that my spectrogram was so faint as to leave some doubt in regard to my interpretation of it. ». La raison invoquée par Fath est leur absence dans la troisième édition d'un fameux livre d'astronomie : « *Populäre Astronomie* ». Et Scheiner de déclarer : « si maintenant il faut publier dans les ouvrages grand public pour que ses travaux soient reconnus… »

À partir de 1910, nous le verrons, Fath correspond avec Vesto Slipher qui lui aussi s'intéresse aux nébuleuses spirales et obtient ses premiers spectres.

Au total, le spectre de onze nébuleuses spirales a été analysé. Tous sont semblables, à l'exception de NGC 650-511[77]. Ces observations font penser que ces objets pourraient être formés d'étoiles non résolues avec les télescopes actuels. Le problème de leur distance reste énigmatique. La parallaxe de la Grande Nébuleuse d'Andromède ne semble pas concorder avec les données observationnelles, mais Fath n'évoque pas vraiment la possibilité que ces nébuleuses soient très lointaines. Peut être n'est-ce pas concevable à son époque ?

---

[75] (Fath, 1913)

[76] Voir annexe 9.7.

[77] En fait on sait maintenant que NGC 650-1 (que l'on croit double) n'est pas une nébuleuse spirale mais une nébuleuse planétaire appelée aussi Messier 76.

Quelles sont donc vers 1910 les conceptions en présence ? La question est double. Elle porte sur les nébuleuses spirales elles-mêmes, maintenant bien identifiées comme objet particulier et sur la structure et la forme de l'Univers.

Sur les nébuleuses, principalement les spirales, deux hypothèses s'affrontent:

- Celle qui les considère comme probablement constituées d'amas d'étoiles, ce que la faible puissance des télescopes ne permet pas de confirmer.

- Celle, issue des conceptions de Laplace et de Chamberlin et Moulton, qui en ferait des nébuleuses de type protosolaires. À vrai dire cette hypothèse n'apparaîtra comme plausible qu'après les premiers travaux de Slipher sur les étoiles nébuleuses et la rotation.

Sur l'Univers deux idées s'opposent

- Celle d'un Univers réduit à tous les objets observables et dont les dimensions restent totalement inconnues.

- Les univers-îles, au contraire, représentent l'hypothèse développée par les philosophes de la fin du XVIIIe siècle : Wright, Lambert, et surtout Emmanuel Kant. Ils considèrent la Voie Lactée comme l'un de ces amas d'étoiles, éparpillés dans un Univers très grand.

La nature finie ou infinie de l'Univers reste du domaine de la métaphysique.

En réalité on assiste à une évolution en trois temps. À partir de Kant beaucoup d'astronomes sont séduits par l'hypothèse des Univers-îles, c'est le cas en particulier de William Herschel qui aborde la question avec des méthodes plus quantitatives. Mais vers 1905, certaines opinions commencent à changer comme l'illustre Agnes Mary Clerke[78], astronome et historienne renommée de l'astronomie. Pour elle la question est tranchée: « ... the question whether nebulae are external galaxies hardly any longer needs discussion. It has been answered by the progress of research. No competent thinker, with the whole of the available evidence before him, can now, it is safe to say, maintain any single nebulae to be a star system of co-ordinate rank with the Milky Way… ''[79]». Elle considère que les études et les observations de la nova de 1885, de la zone d'évitement[80] et la découverte des nébuleuses gazeuses à l'aide du spectroscope sont suffisamment probantes. Peu après, les premiers travaux des astronomes vont sembler

[78] (Brèuck, 2002)

[79] Elle veut dire qu'aucun astronome compétent ne peut maintenir que les nébuleuses sont des amas d'étoiles non galactiques du même ordre que la Voie Lactée.

[80] Voir l'annexe 3 sur ces deux sujets.

corroborer cette hypothèse.

PREMIÈRE PARTIE : L'APPORT DE VESTO MELVIN SLIPHER

L'abandon de la théorie des univers-îles serait, pour Gérard De Vaucouleurs[81], « due en partie aux fausses analogies faites entre les nébuleuses spirales et les modèles alors en vogue de l'origine des systèmes planétaires (théorie « nébulaire » de Laplace ou « hypothèse planétésimale » de Moulton et Chamberlin et en partie à la découverte par V.M. Slipher en 1911 des nébuleuses par réflexion ayant un spectre continu, à raies d'absorption (reflet de leur étoile centrale).»

Cette citation résume bien la situation dans laquelle se trouvait la question que Slipher va contribuer à éclaircir et évoque les deux périodes successives des hypothèses qu'il produit à l'aide de ses résultats: d'abord celle des nébuleuses de type protosolaire puis celle des univers-îles. Mais ce cheminement tourmenté a dû s'alimenter de travaux longs et difficiles.

1- Biographie de Vesto Melvin Slipher

La famille de Vesto Slipher est originaire d'Allemagne. Le nom de la famille était probablement Schleiffer. Il est parfois orthographié Slaefer ou Slifer dans les archives. Le nom de Slipher est stabilisé à partir de Stephen. Ce dernier a épousé une femme dont la famille est, elle aussi, originaire d'Allemagne. En effet Johannes Flenner né en 1720 près de Nassau-Siegen arrive en Amérique le 26 septembre 1741 sur le vaisseau Saint Mark. Il s'installe sur des terres du Maryland qui lui sont données par Lord Baltimore. Son fils, Rudolph (1743-1811) déménage du Maryland à Cincinnati, Ohio en 1802. Son septième enfant, Elisabeth (10/4/1780-8/6/1856) épouse Stephen Slipher en Virginie. Ils s'établissent à Mulberry, Indiana

Stephen Slipher, né en Virginie, déménage donc pour s'établir à Mulberry dans l'Indiana. Son sixième enfant, David (28/4/1814-10/3/1906) est le père de David Clark, lui-

[81] (De Vaucouleurs, 1958a)

même père de Vesto Slipher. Les parents de Vesto Slipher[82], Daniel Clark Slipher (20/11/1848 - 18/12/1939) et Hannah Melissa App (30/8/1852–30/7/1924), sont des fermiers qui résident à Mulberry, Indiana. Le frère de Vesto, Earl (Fitzgerald, 1964) sera lui aussi astronome et toute sa carrière se déroulera à Flagstaff. Vesto Slipher a eu onze frères et sœurs .

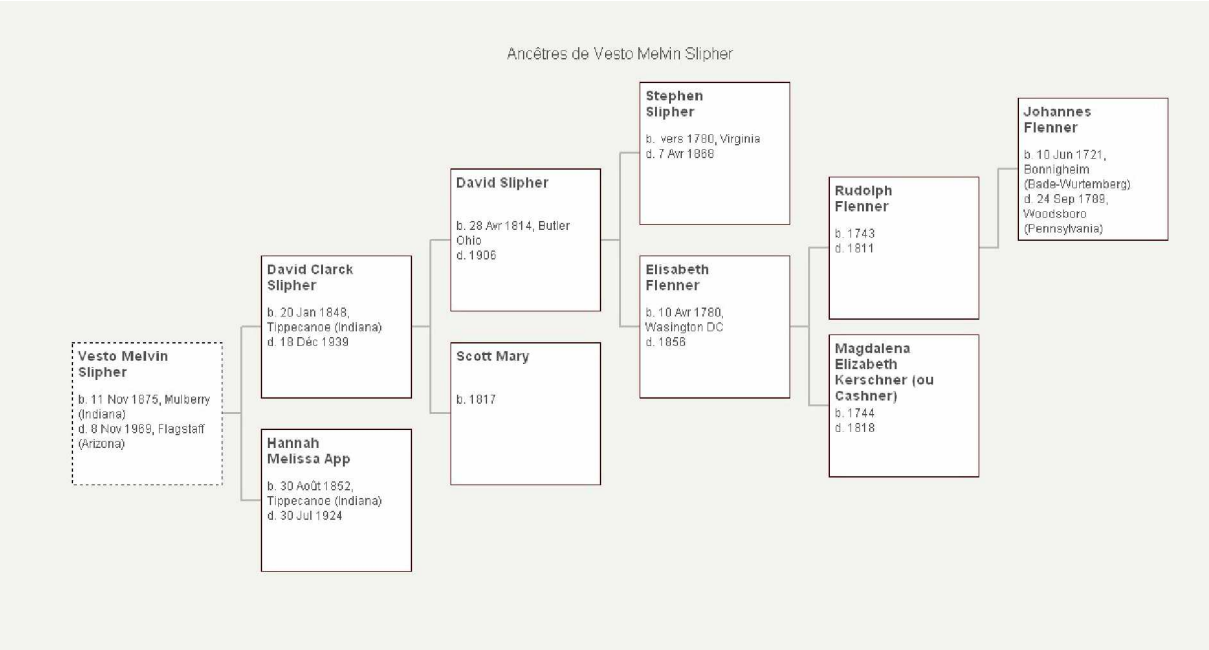


Figure 4 : Arbre généalogique (partiel) de la famille de Vesto Slipher.

Né le 11 novembre 1875 à Mulberry, Slipher[83] fréquente l'école de Frankfort, Indiana. Il enseigne ensuite quelques années dans une école de campagne proche de cette ville. Il ne s'inscrit à l'Université d'Indiana à Bloomington qu'à l'âge de 22 ans, le 20 septembre 1897. Il en sort le 9 juin 1901 avec un « Bachelor of Art degree » (B.A.) en Astronomie et en Mécanique.

Les connaissances théoriques et pratiques de Vesto Slipher à sa sortie de l'université nous sont connues par trois sources principales :

---

[82] Lettre d'un parent de VM Slipher, Walker B. Lowman à Arthur Haog alors directeur de l'observatoire Lowell. 19 janvier 1981. LOA

[83] Pour la biographie de Slipher nous avons utilisé surtout l'article de Hoyt mais aussi ceux de Hart et al. Et de Hall : (Hoyt, 1980), Berentzen et Hart (Berendzen et al., 1984) et (Hall, 1970)

- Une correspondance de John C. Duncan, étudiant à cette université très peu de temps après que Vesto Slipher l'ait fréquentée.

- Le cahier de cours de Slipher en spectroscopie et son travail ultérieur à Flagstaff.

- Les ouvrages d'astronomie disponibles à son époque.

Nous connaissons la formation théorique et pratique dispensée à l'université d'Indiana que Slipher a fréquentée, grâce à un étudiant qui vient de terminer ses études en 1905, donc peu de temps après Slipher[84]. Il s'agit de John Duncan qui révèle que la formation, qui conduit au Master of Art, comprend vingt-huit heures de mathématiques, trente heures de physique avec une formation théorique et pratique de spectroscopie, ainsi que quarante-deux heures d'astronomie avec notamment la pratique des instruments d'observation et la photographie. Cependant Slipher, qui n'a obtenu sur place que le Bachelor of Art, n'a pas bénéficié de la même formation. S'il a travaillé les cours théoriques, sa formation pratique a été acquise principalement à l'observatoire Lowell.

Les archives de Vesto Slipher contiennent également le manuscrit de ses notes de cours[85] qui démontre une formation théorique sur trois mois en spectroscopie, donnée par A.L. Fowler, conforme aux connaissances de l'époque. Le cours intitulé «*Spectrum analysis* » s'est déroulé du 10 janvier au 14 mars 1899 à raison de plusieurs heures par semaine. Les sujets abordés sont divers : réfraction, réflexion, le spectromètre de Rowland, le calcul des longueurs d'onde, les différentes sortes de spectromètres, les lois de Kirchhoff, la décharge électrique dans les gaz, le spectre d'étincelle comme étalon, l'interféromètre, le spectre de différents éléments, la théorie physique (raies de Balmer, Rydberg…). Les bases théoriques sont donc conséquentes.

Les ouvrages d'astronomie contemporains de Slipher :

Nous avons consulté trois ouvrages publiés entre 1897 et 1901, période pendant laquelle Slipher étudiait l'astronomie. Notons que nous n'avons cependant aucune preuve que Slipher les ait lus. Nous savons néanmoins, par la correspondance de Lowell et par la présence actuelle des ouvrages conservés, que la bibliothèque de l'observatoire était riche et en particulier qu'elle contenait les deux premiers ouvrages cités ci-après.

---

[84] in (Lankford and Slavings, 1997)

[85] Archives de l'observatoire Lowell. Boite n°24. Notes de cours de Vesto Slipher 1899. 129 pages manuscrites.

***A new Astronomy* par David P. Todd** (Hudson, 1939)[86] (professeur d'astronomie et directeur de l'observatoire de *Amherst College*), date de 1897. On observe à la page 461 que la classification des nébuleuses est celle de John Dreyer, dans le *New General Catalog* qui est présenté comme la référence sur ce sujet:

« - Classification of nebulae:

Annular

Spiral

Planetary

Nebulous stars

Irregular

Sometimes a 6th class: elliptical"

On observera que dans cet ouvrage, les nébuleuses spirales sont présentées comme étant de type stellaire -les travaux de Scheiner 1899 font référence- et que les nébuleuses planétaires sont de type gazeux :

"- Spiral and planetary nebulae [mises ensemble]

"The spectroscope indicates its stellar character, though, like the Andromeda nebula, it is yet unresolved, except in parts…"

Elles sont éloignées de la Voie Lactée. La raison en est inconnue. Des essais de mesures ont été tentés ; ils se sont révélés décevants mais on pense que les vitesses des spirales sont identiques à celles des étoiles : « Keeler spectroscopic observations prone that the nebulae are moving in space at velocities comparable to those of the stars.»

Le manuel de Charles A.Young (1837-1905), professeur d'astronomie à Princeton est paru en 1898 [87]. La spectroscopie y est bien développée. Les nébuleuses spirales sont séparées des amas stellaires ainsi que des nébuleuses gazeuses grâce à la spectroscopie. La référence est ici encore le catalogue de Dreyer mais aussi les observations de Keeler pour les descriptions. Ce *text book* ne comporte plus aucune référence aux publications de Herschel.

L'ouvrage de H.H. Turner (1861-1930)[88], professeur d'astronomie à Oxford fait le point sur les connaissances du moment (1901). Les nébuleuses n'occupent cependant que

[86] (Todd, 1897)

[87] "*A text-book for general astronomy for college and scientific schools*". (Young, 1898;Young, 1898)

[88] "*Modern astronomy*".(Turner, 1901)

douze pages d'un livre qui en comporte 286. Il estime que la photographie redresse les erreurs commises par certains dessinateurs de nébuleuses et apporte des précisions plus grandes autorisant certaines hypothèses. C'est ainsi que, selon lui, les photographies de la nébuleuse d'Andromède confirment l'hypothèse nébulaire de Laplace : « … and we see here actually in the sky the state of things which Laplace suggested in his famous Nebular Hypothesis – a central nebula, which in its rotation throws off a series of rings, some of which break up to form satellites. ». Au contraire la forme nettement spirale d'autres nébuleuses « … which suggests a rather different historical development...» À coté de ces spirales il existe des nébuleuses diffuses gazeuses, comme vient de le montrer Huggins: nébuleuse d'Orion par exemple.

La nature des nébuleuses est donc très incertaine. Peu de travaux, autres que leur observation et leur photographie, leur ont été consacrés. Seuls Scheiner et Keeler se sont modestement essayés à la spectroscopie des nébuleuses et à des tentatives de mesures de vitesses radiales. Certains, comme Todd, admettent leur nature stellaire, d'autres sont moins assurés. Concernant leur éventuel déplacement dans l'espace, Todd indique que les travaux de Keeler leur confèrent une vitesse identique à celle des étoiles. Il est important de noter que l'hypothèse de la nébuleuse primitive de Laplace est celle qui est enseignée.

Ainsi, lorsque Slipher arrive à l'observatoire il dispose déjà d'une formation initiale théorique qu'il poursuit par des lectures. La formation qui mène au Master of Art (M.A.) est censée permettre aux étudiants d'accéder aux premiers postes d'astronomes, comme assistants, et d'être immédiatement actifs comme le montre Lankford[89] qui a étudié la formation des astronomes américains au début du XXe siècle. Slipher, qui ne bénéficiera pas de cet enseignement, se formera dans ses premières années à l'observatoire Lowell.

C'est en effet après son admission à l'observatoire, en août 1901, que Slipher, encouragé par John Miller[90] passe avec succès son MA le 24 juin 1903. Pour son PhD, ce sera plus difficile, ce diplôme étant jugé à l'université par un examen oral et une thèse. La correspondance avec Lowell et surtout avec son ancien professeur John Miller montre que Slipher, accaparé par son travail à l'observatoire, répugne à se rendre à Bloomington pour y passer l'examen nécessaire à l'obtention du PhD. C'est en 1903 que Miller propose à Slipher,

[89] op. cit. pp 90-91.

[90] Lettre De John Miller à Vesto M. Slipher du 20/1/1902 LOA. Pour l'encourager à faire un *Master degree*.

son M.A. obtenu, de passer sa thèse[91] et lui demande le titre du sujet qu'il souhaite traiter[92]. Miller a obtenu de la direction de l'université une simplification des démarches[93]. Cependant, Slipher ne passe pas sa thèse et aucun document ne nous permet d'en comprendre les raisons. On peut supposer qu'il donne la priorité à son travail à l'observatoire où il doit tout installer, télescope et spectrographe, et en plus réaliser les travaux sur les planètes que lui demande Lowell. En outre, comme nous le verrons plus loin, il est recruté « à l'essai », si bien qu'il ne parle pas de cette thèse à Lowell. C'est seulement en 1908 qu'il écrit à celui-ci qu'il a été sollicité par Cogshall, un autre enseignant d'astronomie à Bloomington, pour passer cette thèse[94]. À cette occasion nous apprenons que Slipher n'était pas trop enthousiaste pour ce qu'il voit comme une formalité mais qui pourrait néanmoins lui être utile pour publier plus facilement. Indécis, Slipher demande à Lowell son avis. Celui-ci répond que c'est en fait lui qui a contacté le président Bryan, de Bloomington, pour qu'il confère à Slipher son doctorat à titre honorifique («honorary degree»). Cogshall répond que l'université ne le fait jamais mais

---

[91] Lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 23/3/1903. LAO pour lui demander de lui envoyer le titre exact de sa future thèse.

[92] Lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 21/4/1903. LAO. Il écrit:"*Venus is satisfactory to me for thesis work*." Il précise qu'il lui faudra envoyer une copie dactylographiée. Il devra aussi valider deux crédits d'enseignements mais il peut le faire par l'envoi de sa liste des travaux effectués à Lowell Observatory avec un rapport d'activité mentionnant le temps passé pour chaque thème. Il lui faudrait aussi passer un examen oral à l'Université et Miller doute que Slipher puisse venir. Il va voir s'il peut arranger cela.

[93] Lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 29/5/1903 . LAO. Il accuse réception de la liste des travaux de Slipher. Il dit que le problème de l'oral pourrait être arrangé, bien qu'il préfèrerait que Slipher se déplace. Il lui demande de lui envoyer sa thèse.

Lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 12/8/1903. LOA. Il a reçu la thèse et ne trouve rien à critiquer.

[94] 29/2/1908. Slipher écrit à Lowell pour lui dire que Cogshall lui a proposé de passer sa thèse en juin à Bloomington.

"

Feby 29, 1908

Dear Mr. Lowell-

I have received a letter from Mr Cogshall asking if I could not meet the requirements by thesis, etc. for the degree of Doctor of Philosophy and be at Bloomington in June for examination. Up to 1900's the University had conferred this degree only 14 times, so you see it is given very sparingly. Although I did not think I cared specially for such a degree, I have, since reading his letter, thought the matter over in the light of possibility and believe it is worth trying for. Of course its chief value lies in the fact that in the mind of many such a degree is accepted rather than a guarantee for the work the possessor may do – a sort of "pure-food" label which helps the sale of the article. I have had in mind to prepare for publication soon a complete account of my work on planetary spectra, and this should meet the requirements for a thesis with only slight alterations to suit it to the required form. So far good.

But on the other hand, It would probably be required to or would need to read some theory – astronomical Physical or Mathematical and that would take time. Then too, it would take me East sooner that it is due me to go off ... "

que Slipher a des travaux de qualité suffisante pour passer une thèse[95]. En avril Miller l'encourage également à la passer[96], éventuellement dans une autre université s'il trouve que Bloomington est trop éloignée de Flagstaff. À cette occasion Miller déclare à Slipher qu'il a dans son curriculum, plus d'articles scientifiques publiés que la plupart des docteurs. Il est vrai qu'en 1908, Slipher a déjà seize articles à son actif. C'est donc le 23 juin 1909 que Slipher obtient cette fameuse thèse dont le sujet est « Le spectre de Mars », sujet déjà publié sous forme d'articles dans l'*Astrophysical Journal*[97].

Les relations entre John A. Miller et Slipher restent très étroites, entre 1901 et 1917. Slipher s'ouvre à Miller de tous les problèmes qu'il rencontre et sollicite ses conseils. Pour sa part Miller ne cesse de les lui prodiguer avec ses encouragements et ses félicitations. La correspondance conservée aux archives de l'observatoire nous montre des relations de respect de la part de Slipher et une bienveillance toute paternelle de la part de Miller.

Slipher à l'observatoire Lowell.

Slipher, ponctuel, arrive donc à Flagstaff le 10 août 1901. Toute sa carrière d'astronome se déroulera ensuite dans cet observatoire. D'abord assistant-astronome, puis astronome, il devient assistant du directeur en 1915, peu avant le décès de Percival Lowell, le 12 novembre 1916. Il n'est nommé officiellement directeur qu'en 1926. Il le restera jusqu'à sa retraite en 1954.

---

[95] Citation par Lowell de la réponse de Cogshall : « *…That by reason of the connection between our department and your observatory Mr. Slipher's work during the past few years might count as residence graduate work and if what he has been doing could be framed up into graduate course they would accept him as a candidate for the Doctor of Philosophy degree…*"

[96] Lettre de Miller qui propose à Slipher passer sa thèse dans une autre Université et lui dit qu'il a fait plus de travaux que beaucoup de ceux qui ont un PhD. 11/4/1908 LOA.

[97] (Slipher, 1908)

Figure 5: Portrait de Vesto Slipher peu après son arrivée à l'observatoire Lowell.

Il se marie le 1er janvier 1904 avec Emma Rosalie Munger à Frankfort. Ils auront deux enfants Marcia Frances (Mrs K.J. Nicholson) et David Clark Slipher qui épouse Helen Pensinger.

En dehors de son activité d'astronome, Slipher s'intéresse aux activités de sa ville d'adoption, Flagstaff. Il est membre, puis président du conseil de la High school de Flagstaff. Il participe à la fondation du Musée des Sciences et des Arts de Flagstaff, et poursuit ses fonctions comme membre du conseil. Il acquiert un important ranch dans la région et fonde également un établissement de tourisme, l'Hôtel Monte Vista (figure 6), dont il occupera la présidence du conseil d'administration pendant de nombreuses années.

Figure 6: L'hôtel Monte-Vista aujourd'hui.

À son décès, le 8 novembre 1969, il lègue une somme d'argent destinée à fonder des bourses et des gratifications pour les étudiants en science de Flagstaff.

Figure 7: plaque funéraire du cimetière de Flagstaff.

TABLEAU CHRONOLOGIQUE DES TRAVAUX DE VESTO SLIPHER

1901-1903 : Mise au point des spectrographes.

1903-1909 : Travaux principalement dédiés aux planètes et aux étoiles.

1909 : Premières tentatives d'études spectrales des nébuleuses « blanches ».

1909 - 1913 : Découverte des nébuleuses par réflexion (Les Pléiades).

1912 : Spectre de Messier 31 : vitesse radiale (environ – 300 km/s)

1912 : Découverte qualitative de la rotation des spirales.

1913 : Slipher privilégie l'hypothèse nébulaire et décrit la première version de sa *« drift hypothesis »*.

1914 : Publication de la vitesse radiale de quinze nébuleuses et de la vitesse de rotation de NGC 4594 (Atlanta et Evanston).

1915 : Le sens des rotations des bras est estimé à partir des bandes sombres présentes dans les spirales et la direction du mouvement de rotation mesuré par effet Doppler.

1917 : Article de synthèse, « Nebulae » avec 25 mesures. Slipher adopte le concept des univers-îles.

1921 : Dernières mesures de vitesses radiales atteignant 1 800 km/s et hypothèse sur la grande distance de ces objets.

1932 : Début de la controverse avec Bertil Lindblad par l'intermédiaire de Edwin Hubble qui adopte l'hypothèse de Slipher.

PRINCIPAUX EVENEMENTS CONCERNANT LA VIE DE VESTO SLIPHER

1875 : Naissance à Mulberry (Indiana).

1897 : Entre à l'Université d'Indiana à Bloomington.

1901 : Obtention de son « *Bachelor of Art Degree* » et arrivée à l'observatoire Lowell.

1903: Obtient son "*Master of Art Degree*".

1904: Mariage avec Emma Rosalie Munger.

1909 : Slipher passe sa thèse de doctorat.

1915: Slipher est nommé Assistant du Directeur de l'observatoire.

1919 : Il reçoit le prix Lalande de l'Académie des Sciences de Paris.

1920 : Slipher est nommé vice-président de l'*American Astronomical Society*.

1921 : Président de la Commission des Nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale (deux mandats de trois ans).

1926 : Directeur de l'observatoire.

1932 : Obtient la médaille Draper de l'Académie des Sciences des États-Unis.

1933 : La *Royal Astronomical Society* lui remet sa Médaille d'or.

1933 : Il est désigné comme vice-président de l'*American Association for the Advancement of Science*.

1935 : Il reçoit la médaille Bruce de l'*American Society of the Pacific*.

1954 : Slipher quitte ses fonctions à l'observatoire.

1969 : Décès de Vesto Slipher à Flagstaff.

2- L'observatoire et son histoire

Percival Lowell (1855-1916) [98], issu d'une riche famille de Boston fait des études supérieures de haut niveau, couronnées par un doctorat avec une thèse intitulée « *Nebular hypothesis* ». Il travaille ensuite dans le milieu des affaires familiales mais passe beaucoup de temps en voyages, notamment au Japon et en Europe. Intéressé à l'astronomie, il obtient une lunette astronomique à l'âge de 14 ans. Il admire les travaux sur Mars de Giovanni Virginio Schiaparelli (1835-1910). Ce directeur de l'observatoire de Milan avait décrit des sillons[99] à la surface de Mars qui intriguent fort Lowell. Lorsqu'il apprend que ce dernier va se retirer, Lowell décide de construire un observatoire sur ses fonds propres. Qui plus est, il décide de faire vite car la prochaine opposition favorable de Mars aura lieu en 1894 et Mars ne se rapprochera plus de la Terre avant longtemps.

[98] Pour la biographie de Lowell, je me suis inspiré de « The explorers of Mars Hill ». (Lowell Putnam, 1994)

[99] L'italien « canali » se traduit par « sillons » et non par « canaux, » ou « canals » en anglais. Cette erreur de traduction a probablement eu une influence importante sur Lowell.

Figure 8: Percival Lowell.

Percival Lowell choisit William H. Pickering (1858-1938)[100] et son assistant Andrew E. Douglass (1867-1962) pour déterminer le site du futur observatoire. Ensemble ils prospectent le sud-ouest américain et retiennent cinq sites principaux (Tombstone, Tucson, Tempe, Prescott et Flagstaff) pour finalement choisir celui de Flagstaff (figure 9). La ville de Flagstaff, d'abord un poste militaire voit son premier fermier arriver en 1876. C'est en 1900 une bourgade de seulement 1721 habitants, heureusement située sur la ligne de chemin de fer qui, depuis 1886, traverse les États-Unis d'Est en Ouest. Les liaisons routières sont incertaines, la célèbre route 66 ne passera à Flagstaff qu'en 1926. L'intérêt de la ville réside dans son altitude et son climat. L'Arizona n'est pas encore intégré aux États-Unis ; il le sera en 1912.

[100] C'est le frère de Edward C. Pickering (1846-1919) directeur du Harvard Observatory. Il avait été désigné pour choisir le site de la Boyden Station, finalement à Arequipa au Pérou. Pour cela il avait mis au point une méthode très précise pour évaluer la qualité (Alspector-Kelly, 2004) d'un site d'observation.

Figure 9 : carte de l'état de l'Arizona.

Un dôme, préfabriqué par Pickering, est monté sur le site en mai 1894. Deux lunettes sont empruntées : une de 18 pouces (46 cm) et une de 12 pouces (30 cm). Le 28 mai débutent les premières observations de Mars. Lorsque la planète s'éloigne de la Terre, les observations cessent, le matériel est renvoyé à Boston. En avril 1897[101] Lowell installe à Flagstaff le télescope qu'il vient de faire construire : une lunette de 24 pouces (61 cm). Sur place trois astronomes s'affairent: William A. Cogshall (1874-1951) qui ne restera qu'un an avant de retourner à l'université d'Indiana, Douglass (un temps malade) qui quitte l'observatoire en 1901 et Thomas J.J. See (1866-1962)[102] qui en part en 1898.

[101] Le dôme et le télescope seront installés au Mexique, le temps d'observer de nouveau la planète Mars.

[102] Il n'est resté que deux ans à l'observatoire Lowell, licencié par Putnam, alors administrateur de l'observatoire, en raison de son attitude discourtoise envers le personnel. En 1898 il rejoint l'U.S. Naval Observatory. Voir (Lowell Putnam, 1994), pp 33-34.

Figure 10 : Le dôme abritant la lunette de 24 pouces.

Quand Slipher arrive, il est donc le seul astronome. Andrew E. Douglass est parti au début de l'été. Deux techniciens assurent la maintenance de l'observatoire : Godfrey Sykes de 1894 à 1910 et Harry Hussey de 1900 à 1905. Wrexie Louise Leonard, secrétaire de Lowell depuis 1893, réside à Boston.

En 1910 l'observatoire est équipé d'un télescope de 40 pouces (1 m) puis en 1921 d'un second télescope de 21 pouces (53 cm). Ensuite l'équipement de l'observatoire va stagner faute de fonds suffisants jusqu'à la fin des années cinquante, alors que des télescopes de diamètres de plus en plus grands sont installés à l'observatoire du Mont Wilson, permettant à Hubble de poursuivre des études au-delà de ce que Slipher avait pu réaliser.

3- Un astronome au travail

C'est Wilbur Cogshall (1874-1951), enseignant à l'université d'Indiana dans le département d'Astronomie et de mécanique, qui a obtenu de Lowell la promesse de recruter Slipher[103]. Au

[103] Le financement de l'observatoire est assuré par Lowell sur ses fonds propres ainsi que ceux qu'il collecte depuis Boston auprès de sponsors fortunés.

moment où Slipher a terminé ses études, Cogshall lui rappelle sa promesse[104]. Lowell qui avait oublié, accepte la venue de son élève. Immédiatement Cogshall contacte Slipher qui décide rapidement de venir s'installer à Flagstaff[105] et arrive le 10 août de l'année 1901.

3.1. La période de mises au point.

Si la lunette fonctionne normalement, le spectrographe, acheté par Lowell n'arrive à l'observatoire qu'à l'automne 1901. Ce spectrographe, semblable à celui de l'observatoire Lick, John Brashear (1840-1920), son constructeur, l'a amélioré pour l'observatoire Lowell. C'est Slipher qui se charge de son installation. Sa formation initiale est, nous l'avons vu, limitée et Lowell est incapable de l'aider[106]. Slipher devra se débrouiller en obtenant des informations de Brashear et de collègues astronomes, notamment Fath de l'observatoire Lick. Pendant toute l'année 1901 et le début de 1902, Lowell a envers lui une position très autoritaire comme en témoigne le ton des courriers qu'il adresse à Slipher ,[107] et la nature de ses travaux est solidement encadrée : « I want you for the present to devote yourself to getting the spectroscope into perfect running order. I do not wish as yet any work done on Venus. When you have got the spectroscope in perfect running order you may begin with Jupiter and forward me what you get."

Ceci n'empêche pas une reconnaissance de l'habileté de Slipher et des paroles d'encouragement à un Slipher qui doute de lui[108] : « So you see you are getting on better than you thought ». déclare-t-il, à propos d'un spectre de Saturne. Lowell l'a montré au professeur Rees qui en a reconnu les qualités car il montre très clairement des signes de rotation de la planète.

---

[104] Lettre de Lowell à Cogshall : « *As regard to Mr Slipher : I shall be happy to have him come when he is ready. I have decided, however that I shall not want another permanent assistant and take him only because I promised to do so; and for the term suggested. What it was escapes my memory. If, owing this decision he prefers not to come, let him please himself.*" July 7, 1901. LOA

[105] Lettre de Cogshall à Lowell : *« I wrote to m. Slipher concerning his going to Flagstaff and he answered that he will try and reach there early in August. I am sure you will find him both agreeable and profitable*." July 19, 1901 LOA Et Aug. 10th, 1901 Telegram de Cogshall à Lowell: "*Suppose slipper (sic) on road. Expected arrive Monday. Will write him. W.A. Cogshall*"

[106] Il n'a pas la formation pratique nécessaire et de plus il réside à Boston et ne fait que de cours séjours à Flagstaff.

[107] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 14/11/1901. LOA.

[108] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 4/9/1901. LOA.

Figure 11: Le spectrographe initial de Slipher.

Par contre, lorsqu'il demande à Lowell la permission de se rendre à l'observatoire Lick, celui-ci, fâché avec son directeur, William W. Campbell refuse[109] : "I think it would be unadvisable for you to go to Lick at present." Il lui précise qu'il ne pourra se rendre à Lick que

[109] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 18/12/1901. LOA.

lorsqu'il aura terminé le travail sur le spectroscope. En même temps, pour le remercier de son travail, il lui envoie un cadeau de Noël !

Slipher conserve une certaine liberté pour des études qui sortent du strict cadre des planètes, à condition que ces travaux ne ralentissent pas ce que Lowell considère comme prioritaire. C'est toutefois grâce à un travail acharné qu'il peut mener ses propres recherches, à côté des travaux obligatoires. Cependant, lorsque Slipher en parle à Lowell, celui-ci ne manque pas de lui prodiguer ses conseils. C'est ainsi que lorsque le 28 octobre 1901 Slipher lui fait part de son intention de travailler sur les vitesses radiales des étoiles, Lowell l'informe des travaux déjà réalisés par Campbell et l'aide de conseils pris auprès de McDowell qui travaille chez Brashear. Un peu plus tard[110], Lowell conseille à Slipher de ne pas se surmener et de prendre un mois de vacances. Il le félicite pour ses mesures de la vitesse radiale de l'étoile Arcturus qui concordent bien avec celles de la littérature. Son salaire est augmenté. Il passe à $ 1200 par an et Lowell lui paie ses frais de voyage afin qu'il puisse partir en vacances. En février 1902 Slipher se plaint d'être un peu seul et, en septembre, Lowell recrute un nouvel assistant Carl O. Lampland[111][112]. À cette époque les fonds ne manquent pas à Lowell, mais l'équipe reste petite (moins de dix personnes en tout)[113].

Lorsque Slipher se prépare à publier son premier travail, Lowell lui conseille d'être plus sûr de lui[114]. Il lui reproche des phrases qui tendent à minimiser son travail et Lowell lui conseille : « that apology for a performance not being better is a mistake. Equally so with a suggestion that it may be better in the future." Et il cite La Rochefoucault: "Never speak evil of yourself, your friends can always be trusted to say quite enough."

À partir de cette période, les relations entre Slipher et Lowell sont fondées sur une estime mutuelle. Le ton des lettres devient à la fois plus scientifique et plus chaleureux. Il n'empêche que Slipher doit s'occuper de tout : les demandes de Lowell en astronomie, ses propres recherches, la gestion de l'observatoire et même la culture de légumes et les soins à la vache « Vénus » !

---

[110] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 28/6/1902. LOA.

[111] (Duncan, 1952)

[112] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 27/9/1902. LOA.

[113] Pour ce qui concerne Lowell voir (Lowell Putnam, 1994) et (Lowell, 1935)

[114] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 5/11/1902. LOA.

En 1904 Slipher publie dans l'*Astrophysical Journal*, le travail qu'il a fait sur le spectrographe[115].

3.2. Les premiers travaux planétaires et stellaires.

Après la mise au point du spectrographe, la période suivante est pour Slipher celle de l'application. C'est ainsi qu'il va publier des travaux qui lui permettront d'être à l'aise dans ses études futures sur les nébuleuses. La liste de ses publications témoigne de la diversité des travaux spectroscopiques de Slipher. Il faut remarquer qu'il est l'un des premiers astronomes à se consacrer entièrement à la « nouvelle astronomie » qui prend le nom d'astrophysique. En effet, point de fastidieuses observations de position, pas d'étude météorologique et autres contraintes qui pèsent sur nombre d'observatoires.

La liste des thèmes abordés et publiés par Slipher dans cette période est importante. (Tableau :II).

Ainsi Slipher acquière-t-il la maîtrise de l'observation spectrale des rotations, des vitesses radiales et de l'analyse de la composition chimique des astres. Ces travaux seront poursuivis, mais de façon moins intensive du fait de ses nouvelles recherches sur les nébuleuses.

[115] (Slipher, 1904b)

Rotation[116] **des planètes** :

Vénus, Mars (1903) , Lune et planètes en 1905, rotation d'Uranus (1912),

Vitesses radiales des étoiles :

Binaire spectroscopique beta Scorpii (1903)

Vitesse variable de lambda Scorpii (1903)

Liste de cinq étoiles ayant une vitesse radiale variable (1904)

Vitesses radiales des étoiles standard (1905)

Vitesse radiale variable de gamma Geminorum

Vitesse radiale de delta Capricorni (1906)

Vitesse radiale de U Cephei (1907)

Études spectrales :

Spectres de Neptune et Uranus (1904)

Spectre de Jupiter(1905)

Spectre de Mars (1905)

Spectre de Saturne (1906 , 1907)

Spectre de Mira Ceti (1907), de epsilon Capricorni (1907)

Nouvelle étude du spectre de Mars (1908)

Spectre des principales planètes (1909)

Spectre de la comète de Halley (Slipher, 1911b)

Spectre des Pléiades, dont nous reparlerons (1913)

Absorption dans l'espace au voisinage de plusieurs étoiles, de nature indéterminée (Slipher, 1911b)

Spectre du fond du ciel nocturne (« aurore persistante »)

Tableau II: Liste des thèmes des publications de Slipher jusqu'en 1913.

[116] On appelle rotation le mouvement de la planète sur son axe et révolution le déplacement autour du Soleil.

3.3. Les travaux sur le spectre des nébuleuses spirales.

Au moment où les premiers travaux spectrographiques sur les nébuleuses spirales sont effectués, un certain nombre d'a priori dominent la scène astronomique. Leurs dimensions et leurs masses seraient identiques, les différences observées tenant à leur plus ou moins grand éloignement. Dans l'ensemble les astronomes estiment que les spirales ont une petite dimension par rapport à la taille de la Voie Lactée. Leurs distances correspondraient, au plus, à la plus grande distance des étoiles; elles seraient donc intragalactiques. Enfin, nous y reviendrons, les étoiles naîtraient d'une nébuleuse en rotation et parmi celles-ci les spirales seraient de bonnes candidates. Les observations simples, au télescope, montrent un noyau central très brillant, assimilé généralement à une étoile centrale. Leurs formes, celle d'un disque aplati et la présence de bras enroulés suggèrent une rotation. Enfin il est important de souligner qu'aucune parallaxe n'a été mesurée. Les apports de la spectrographie seront de trois ordres : 1) le spectre est de type stellaire, 2) elles possèdent une grande vitesse radiale et 3) elles sont en rotation. Ces deux dernières propriétés, découvertes par Slipher, joueront un rôle considérable dans les nouvelles hypothèses formulées à propos des nébuleuses spirales.

À partir de ces observations, Slipher va développer des hypothèses quant à la nature de ces objets. Elles vont évoluer progressivement au fil des découvertes. Après avoir décrit les différents travaux réalisés par Slipher nous aborderons d'une manière plus synthétique les hypothèses formulées qui peuvent se séparer en deux grandes périodes limitées par l'année 1917.

3.3.1. Motivation première.

En 1908 [117]c'est le frère de Vesto, Earl[118][119], recruté en 1906, qui devrait, à la demande de Lowell, réaliser le premier spectre d'une nébuleuse. Il est probable que la tentative, si elle a eu lieu, n'a pas été fructueuse. Par contre, il a réalisé les premières photographies des spirales[120]

[117] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 13/10/1908 . LOA.

[118] (Fitzgerald, 1964)

[119] Une courte biographie de Earl Slipher peut être consultée en annexe 8.

[120] Slipher annonce qu'il a réalisé des photographies de spirales. Elles ont été faites le 24 octobre avec un grossissement 10X et une exposition de 3h1/2. Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 4/11/1908. LOA.

avec des résultats satisfaisants. Ces photographies seront importantes pour Vesto Slipher et son interprétation de la rotation des nébuleuses. Il les utilisera en outre à plusieurs reprises pour illustrer ses propos sur les spirales lors de ses présentations orales. Voyant les résultats acquis sur les étoiles et les planètes, Lowell demande en janvier 1909 à Vesto Slipher de tester des plaques photographiques nouvelles que Slipher a mises au point, sensibles au rouge et au proche infrarouge[121], sur une nébuleuse verte (nébuleuse gazeuse) pour comparer son spectre à celui des planètes.

Le 8 février 1909[122] il lui précise qu'il faut étudier aussi les « nébuleuses blanches », c'est à dire les spirales. : « I would like to have you take with your red sensitive plates the spectrum of the white nebula – preferably one that has marked centres of condensation." Il rajoute à la main : « Continuous spectrum, but I want its outer parts. » Ce qui intéresse Lowell, c'est la comparaison des spectres de la partie centrale très brillante, avec ceux de la partie périphérique. Dans son intérêt pour les planètes, il va en effet contester[123] l'hypothèse planétésimale de Thomas Chamberlin (1843-1928) et Forest Moulton (1872-1952) et favoriser celle de Laplace. Une telle étude spectrale pourrait selon lui, constituer un test de cette hypothèse. Malheureusement cette comparaison restera longtemps impossible car la partie extérieure, très peu lumineuse, échappe aux méthodes d'investigations disponibles. C'est peut être pour cela que Lowell se désintéressera des travaux de Slipher sur les nébuleuses, comme le montre l'ensemble de leur correspondance, sauf lorsqu'elles attirent l'attention des media et du public sur son observatoire.

3.3.2. Slipher réalise une « revue de la littérature ».

Il fait d'abord part de ses doutes à Lowell quant à la réussite de l'entreprise[124], avec le matériel dont il dispose: « I do not see much hope of our getting the spectrum of a white nebula on the red plate because the high ratio of focal length to aperture of the 24-inch give a very faint image of a nebula. There are no white or spiral ones bright enough to photograph with a ratio of one-to-five in less than three hours if the outer parts are at all well recorded. This would mean 30 hours with the 24-inch for direct photography, and as the

[121] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 29/1/1909. LOA. En 1907, Slipher avait mis au point une méthode pour sensibiliser les plaques photographiques au rouge. C'est Lowell qui publie ce résultat dans *Nature* le 12 novembre 1908.

[122] Lettre de Percival Lowell à Vesto Slipher du 8/02/1909. LOA.

[123] Dans son livre « *Mars as the adobe of life*" qui paraît en 1908 (Lowell, 1908).

[124] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 26/2/1909. LOA.

dispersion of the spectrograph should be at least 100-times the slit width in order to get details, it would seem the undertaking will have to await the reflector.” Pour appuyer ses dires, il fait ensuite référence à un spectrogramme de la Grande Nébuleuse d’Andromède pris par Julius Scheiner en 1899[125] dont la qualité est mise en doute, en particulier par Miss Agnes M. Clerke, astrophysicienne reconnue, qui estime le spectre de Scheiner insuffisant car limité au noyau de la nébuleuse[126]. Ce spectre ne peut, pour elle, résoudre la question de la structure de la nébuleuse car il se peut que les deux parties, noyau central et bras, soient de nature différente[127]. Fath, critique aussi ce spectre mais fera amende honorable[128]. Slipher connaît également les travaux de Huggins, de 1888 et ceux plus récents de Fath.

Mais ces difficultés, soulignées par tous les auteurs, ainsi que leurs échecs, ne désespèrent pas Slipher qui recherche des moyens d’obtenir de meilleurs spectres[129]. Deux raisons poussent Slipher à poursuivre dans cette voie. La première est qu’il maîtrise parfaitement la spectrographie des planètes et des étoiles comme en témoignent ses publications. La seconde est aussi qu’il a été engagé par Lowell avec comme mission principale la mise au point de la technologie de la spectrographie pour l’observatoire. Mais si, au début, l’intérêt est principalement technique, très vite, Slipher va entrevoir l’intérêt de l’étude, encore presque vierge, de ces objets.

3.3.3. Les conseils de Fath et de Frost.

Pour cela, Slipher commence par contacter Fath[130] qui a réussi un spectre de la nébuleuse d’Andromède. Il lui demande des renseignements sur le spectrographe qu’il utilise pour les nébuleuses. Ce dernier lui répond[131] que son propre spectrographe n’est pas très satisfaisant pour ce type de travail et lui suggère d’utiliser plutôt un prisme unique, fait en verre de flint

---

[125] Avant lui des spectres avaient été observés par Gothard en 1885 sans photographie.

[126] (Clerke, 1903)

[127] Il faut noter que, pendant longtemps, il ne sera pas possible d’obtenir le spectre des bras, en raison de leur faible éclat apparent. Seuls des télescopes de plus grand diamètre permettront d’accéder à cette partie de la spirale.

[129] Contrairement à l’impression que donne Hetherington (Hetherington, 1975), il n’y a pas eu de discontinuité entre les idées de 1909 et les succès obtenus en 1912. Slipher a progressivement réuni les conditions techniques nécessaires pour faire aboutir le projet.

[130] Lettre de Vesto M. Slipher à Fath du 5/8/1910. LAO.

[131] Lettre de Fath à Vesto M. Slipher du 27/11/1910. LAO.

léger, dont l'angle au sommet serait d'environ 30°. En fait, dit-il, tous les détails sont consignés dans son article de 1908.

Il prend également contact avec Edwin Frost (1866-1935), astronome à l'observatoire Yerkes dès 1906. Celui-ci lui prodigue aussi des conseils techniques pour la mise au point du spectrographe.

3.3.4. La mise au point et les premiers spectres

Fort de ces conseils, Slipher va entreprendre de fabriquer un nouveau spectrographe. On sait par ses lettres régulières à Lowell[132] qu'il travaille alors tout le mois de novembre 1910 à la mise au point d'un spectrographe à prisme unique qu'il fabrique lui-même à l'observatoire. Il est prêt à la fin du mois et Slipher obtient son premier spectre satisfaisant de la Nébuleuse d'Andromède.

Le prisme unique absorbe moins de lumière, il permet donc de photographier le spectre avec des temps de pose certes longs, mais du domaine du possible[133] : «requires only about a hundredth part of the exposure required by the three-prism arrangement ». Toujours pour pallier le faible éclat, Slipher utilise un appareil photographique de très courte focale. Ce dernier à l'avantage de concentrer la lumière du spectre sur une petite surface et contribue ainsi à la diminution du temps de pose mais il a l'inconvénient de sa taille. Ce spectre ne mesure en effet que 3 mm par 10 mm et il doit être examiné au microscope.

Il communique ses résultats à Lowell[134], quoique de façon assez laconique: « …This plate of mine seems to me to show faintly, peculiarities not commented upon by either of these astronomers" (il s'agit de Fath et de Scheiner)… "the spectrum seems decidedly different from the solar type." Nous verrons, dans une lettre à Fath, que ce sont des bandes spectrales qui lui semblent assurer la distinction avec un spectre de type solaire.

L'avis de Fath lui semble déterminant, c'est pourquoi il lui envoie son premier spectre[135]. Dans cette longue lettre de deux pages, Slipher décrit précisément son protocole d'observation. Il a utilisé un spectrographe formé d'un seul prisme de 60° d'angle au sommet, monté sur un appareil photographique à courte focale, ce qui lui permet de réduire le temps de pose à huit heures. Il explique ensuite que pour lui, le rapport ouverture/distance focale du télescope ne joue aucun rôle dans la réussite du spectrogramme d'un objet aussi diffus, alors

[132] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 5/11/1910. LOA.

[133] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 28/11/1910.LOA.

[134] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 3/12/1910. LOA.

[135] Lettre de Vesto M. Slipher à Fath 8/2/1911 . LAO.

qu'au contraire, la courte focale de l'appareil photographique est déterminante pour la précision du spectre. Beaucoup ont affirmé au contraire qu'une plus grande ouverture du télescope permettrait d'obtenir un meilleur spectre, ce que conteste Slipher. Le spectre de la nébuleuse est comparé à celui du Soleil, obtenu à partir de celui de la planète Saturne qui réfléchit sa lumière. Les raies prises comme référence sont celles du fer. Les pellicules sont différentes : « *Sigma* » des laboratoires Lumière pour la nébuleuse et « *Seed 27*» pour Saturne[136] mais cela ne gêne pas la comparaison.

Pour l'analyse du spectre, il utilise la classification spectrale[137] mise au point à Harvard par l'équipe dirigée par Edward Pickering[138]. Comme nous l'avons vu précédemment, elle dérive de celle de Angelo Secchi en quatre classes, le type I correspondant aux étoiles très chaudes et blanches et le type IV aux étoiles rouges les plus froides. Pickering propose la classification spectrale encore utilisée aujourd'hui ainsi qu'une séparation en classe de luminosité de I à V[139]. À cette époque on estime que les étoiles de type I seraient aussi les plus jeunes et celles de type IV les plus évoluées. Ce choix par Slipher d'appliquer une classification des étoiles aux nébuleuses est un indice des hypothèses qu'il pense tester : il estime probablement déjà que le noyau central brillant de la nébuleuse peut être une étoile en formation.

Le spectre que Slipher décrit ressemble globalement à celui publié par Fath, mais il pense en outre observer des bandes sur la partie « bleue »[140] du spectre. Ainsi ce spectre n'est-il pour Slipher rien d'autre qu'un spectre stellaire, peut être un peu particulier et différent de celui du Soleil.

Fath [141] accuse réception de ses photographies, mais comme Slipher ne lui a pas envoyé l'original mais un agrandissement, la stricte comparaison avec les siennes n'est pas possible. Il l'informe dans le même courrier de techniques permettant de meilleures conditions de prise de vue et lui recommande la lecture d'un article de J.E. Keeler dans « Sidereal Messenger 1891 ; 10 : 433 ». Dans une seconde lettre, Fath est plus circonspect quant

---

[136] Pour plus de précisions voir l'annexe sur la photographie.

[137] voir annexe 9.3 : type spectral.

[138] Pour l'histoire des classifications spectrales des étoiles on peut se référer à (Leverington, 1995).

[139] Cette classification repose en partie sur la largeur des raies spectrales, sujet de discussion entre Fath et Slipher.

[140] Bien sûr, les photographies sont en noir et blanc et Slipher parle de l'extrémité qui correspond à la longueur d'onde bleue du spectre visible.

[141] Lettre de Fath à Vesto M. Slipher du 14/2/1911. LAO

aux bandes[142]. « … with low dispersion we often have bands which become lines on using higher dispersion". Ce que Slipher pensait être une particularité de la nébuleuse d'Andromède serait donc, pour Fath, lié à un défaut d'étalement du spectre. Il affirme cependant que le spectre obtenu par Slipher est de bonne qualité. Son avis sur la classification du spectre diverge de celui de Slipher: « I do not think the andr. Neb. Spectrum will fall under type IV[143] or anywhere near it so far as I can see from my plates". Il lui envoie ses propres photographies, publiées dans le Lick Obs Bull 149. Le spectre de comparaison est celui de l'hydrogène. « You see the band you speak of from λ 464 to 473 can hardly be said to exist. There are several lines in that region however. Then there is the strong band near Hδ in type IV that does not show as such, the G line being strongly preponderant. The absorption that shows between G and H is made of a number of lines. The general absorption in this region increases strongly, as you know, from F type to M-type." … "The type IV spectra are mighty interesting. We have one plate of this type taken with a prism spectrograph. The bands become lines closely grouped and greatly resemble M type bands but the extend into the violet is much greater than for the latter type." Malgré cette discussion, lui aussi considère la nébuleuse comme une étoile et cherche dans quel type spectral la classer, bien qu'elle rentre mal dans une des classes de Harvard.

Slipher est loin d'être satisfait du spectre qu'il a obtenu et il en informe Lowell [144]. Il va continuer à perfectionner son instrumentation et son protocole d'observation. Comme ses collègues, il estime qu'il s'agit d'objets de type stellaire. Pour l'instant aucune donnée numérique n'est formée à partir de ces études spectrales, leur analyse n'est que qualitative. Mais on sent dans ses courriers que, les problèmes techniques résolus, Slipher commence à se passionner pour ces nébuleuses spirales.

Cependant, dans cette période, Slipher a également travaillé sur deux problèmes qui vont jouer un rôle dans les hypothèses qu'il évoque et il est important de les aborder maintenant.

3.3.5. Deux études importantes: l'absorption interstellaire et le spectre des Pléiades.

En 1909, il reprend un sujet abordé par Johannes Hartmann (1865-1936) sur la présence de gaz dans l'espace interstellaire. Il réalise une étude détaillée de la question [145] et démontre

[142] Lettre de Fath à Vesto M. Slipher du 1/3/1911. LAO.

[143] Le type IV de la classification stellaire correspond à des étoiles évoluées.

[144] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 26/9/1912. LAO.

[145] (Slipher, 1909) et (Slipher, 1911a)

leur existence. La même année, il se porte sur les Pléiades. C'est un amas stellaire situé dans la constellation du Taureau. Les astronomes avaient depuis longtemps observé que les étoiles de cet amas étaient entourées d'une nébuleuse, mais il est le premier à l'étudier au spectroscope. Alors qu'il s'attend à trouver un spectre d'émission, il découvre que la nébulosité possède un spectre de type stellaire et que ce spectre est le même que celui de l'étoile Mérope voisine. Il propose alors une hypothèse originale : cette nébuleuse est constituée de fines particules (« pulverulent matter ») éclairées par les étoiles voisines, une nébuleuse par réflexion, terme qui sera maintenu jusqu'à aujourd'hui. John Miller[146] qui le félicite pour son étude des Pléiades, l'entretient d'une discussion qu'il a eue avec Edward Barnard (1857-1923)[147] qui a aussi publié sur le sujet de la matière interstellaire. Avec Duncan ils ont comparé ce spectre avec celui de la nébuleuse d'Andromède et ils estiment importante la découverte de Slipher. Lui-même considère qu'il s'agit d'une découverte très importante, fait signalé par Hoyt[148]. Plus tard, en 1913, un astronome de grande renommée, Ejnar Hertzsprung[149], confirmera à Slipher le grand intérêt de son étude.

En 1912, lorsqu'il obtiendra un spectre de la nébuleuse d'Andromède, Slipher se souviendra de ses travaux sur les Pléiades et cela le conduira à proposer l'hypothèse de l'illumination de la nébuleuse : sa périphérie faite de matière (gaz et poussières) est éclairée par le noyau brillant constitué d'une étoile très lumineuse. Cette étude est confirmée en 1916 par la découverte du même phénomène autour de l'étoile ρ Ophiuchi [150]

3.4. Les vitesses radiales

3.4.1. La nébuleuse d'Andromède.

Il est bon de rappeler ici ce que Slipher obtient avec sa technique. Le spectre de la nébuleuse est situé au centre. Il est encadré, en haut et en bas du spectre étalon Fer-Vanadium. Le spectre de la nébuleuse est continu et parcouru de raies verticales qui apparaissent en noir.

[146] Lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 24/4/1909. LAO.

[147] (Barnard, 1910) et (Barnard, 1913)

[148] (Hoyt, 1980)

[149] (Strand, 1968)

[150] (Slipher, 1916a) et (Slipher, 1916b)

Lorsque ces zones sont épaisses on les nomme des bandes. Les spectres étalons ne comportent que des raies qui correspondent à des longueurs d'onde connues, mesurées au laboratoire. Par comparaison avec celles-ci, il est possible de mesurer précisément sous le microscope la longueur d'onde des raies provenant de la nébuleuse. De plus, un spectre solaire, dont les raies possèdent des longueurs d'onde bien connues accompagne le spectre nébulaire. C'est ainsi que Slipher va pourvoir décrire le spectre de la nébuleuse, remarquer que certaines raies de longueur d'onde connue et présente dans le spectre solaire sont décalées dans la nébuleuse et enfin déceler une inclinaison de ces raies témoignant d'une rotation de la nébuleuse.

Pour mesurer une vitesse radiale il faut d'abord mesurer le décalage entre deux mêmes raies du spectre étalon et du spectre de la nébuleuse appelé $\Delta\lambda$. Cette valeur est divisée par la longueur d'onde mesurée en laboratoire. Le rapport $\Delta\lambda$ / λ est proportionnel à la vitesse radiale de la nébuleuse[151].

Nous verrons plus loin comment s'y prend concrètement Vesto Slipher pour réussir à observer ces phénomènes.

En septembre 1912, Slipher a réussi quelques spectres d'assez bonne qualité (figures 12 et 13). Le temps de pose est de 6 heures 50 minutes. Il projette d'essayer également le spectrographe à trois prismes avec un appareil photographique de très courte focale et une exposition plus longue. Il a fait l'acquisition d'un nouvel appareil photographique de marque Voigtlander. Sa focale est courte : il ouvre à f 2,5 ce qui lui permet d'avoir des temps de pose bien plus courts que ses concurrents. Pour la première fois il espère pouvoir mesurer une vitesse radiale[152] « …a rough idea of the velocity of the nebula in the site line ». Il rappelle cependant en octobre 1912 que d'autres ont échoué: « That is very much like trying to doing the impossible since others (some of them) thought they had succeeded when they got two or three lines only…"

[151] Pour des précisions plus grande on peut consulter l'annexe 9. Voir aussi la figure 15.

[152] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 26 septembre 1912. LAO.

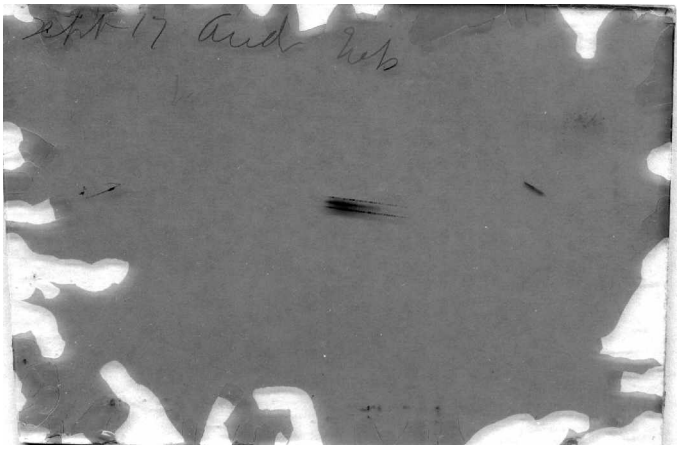


Figure 12 : Plaque prise le 17 septembre 1912.

Mais il est optimiste car le problème n'a peut-être pas été bien traité: "But others apparently did not go about the problem in what I thought was the most promising way, a way which seems to check out, too." Il pense aussi essayer des filtres colorés pour mieux préciser le type spectral de cette nébuleuse. Alors qu'il semble assez optimiste, Slipher est encouragé par Fath[153] qui l'informe que le sujet des nébuleuses commence à intéresser d'autres astronomes comme Wolf à Heidelberg, un astronome de grande réputation. Fath ajoute : "In my opinion there is no more fruitful field of investigation we can get on general cosmogony."

En décembre[154] Slipher a encore progressé. Son nouveau spectre est tout à fait satisfaisant et il jubile: « By using a narrower slit and long exposure I have a later spectrogram which is an improvement over the one you have the copy of. Of course the spectrum is very faint and getting the velocity from the spectrogram would doubtless impress these observers as a quite hopeless undertaking, and maybe it is, but I make an attempt.'' Et, dix jours plus tard[155] il écrit à Lowell qu'il est décidé à se lancer dans une nouvelle aquisition car les prévisions météorologiques sont excellentes "I am thinking about getting of it one good carefully made spectrogram for its velocity in the line of sight and hope to get at it tomorrow night if the sky is clear. After that plate I shall write you again." Il se confie en outre à John Duncan, un astronome plus jeune de quatre ans, ancien étudiant comme lui à l'université d'Indiana qui avait passé un an à l'observatoire Lowell. Il lui fait part de son hypothèse en prenant en compte ses travaux sur les Pléiades[156] : pourquoi Andromède ne serait-elle pas, comme les Pléiades, illuminée par une étoile centrale avec un spectre de type stellaire dû à cette étoile, la

[153] Lettre de Fath à Vesto M. Slipher du 2/12/1912. LAO.

[154] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 19/12/1912. LAO.

[155] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 28/12/1912. LAO.

[156] Lettre de Vesto M. Slipher à John Duncan du 29/12/1912. LAO.

nébuleuse brillant par réflexion ? Ceci serait en accord avec l'hypothèse de Karl Bohlin (1860-1939)[157] qui, selon Slipher, voit dans notre Galaxie une nébuleuse de type planétaire[158].

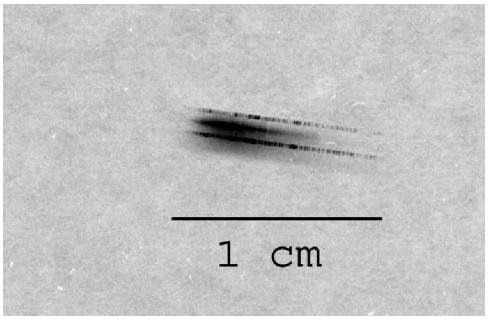


Figure 13 : Le spectre de la nébuleuse d'Andromède (taille réelle). Au centre le spectre du noyau de la nébuleuse. Il est entouré du spectre de référence.

Le 29 décembre il réalise ce nouvel enregistrement: il est d'excellente qualité et quatre jours plus tard, Slipher annonce à Lowell[159] qu'il n'a pas encore réalisé de mesures mais qu'il observe un décalage vers la partie violette du spectre. Dans une lettre à Fath[160], en lui envoyant une copie du spectre, il est encore plus précis « You will I think, be able to see a displacement of the nebular lines toward the violet with reference to such lines as 4325, 4308 and 4372[161] of the Fe and V comparison spectrum. Other plates show the same thing, which correspond to a velocity of about 275 km. I wanted to get the spectrum with three prisms but other work did not permit such a prolonged exposure being made on the nebula."

Il faut noter que Slipher interprète, pour l'instant, de façon erronée le sens du déplacement de la nébuleuse car il inverse le sens du spectre (il prend l'extrémité rouge pour la violette car le microscope inverse l'image et les spectres sont en noir et blanc). S'il a quelques doutes sur la nature du décalage il indique à Fath « I cannot find any other explanation… »

---

[157] (Bohlin, 1907)

[158] A ce moment les nébuleuses planétaires sont classés parmi les nébuleuses gazeuses. On ne connaît pas leur mécanisme de formation à partir d'une étoile en fin de vie. Voir en annexe 9.7 un historique de l'interprétation des nébuleuses planétaires.

[159] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 2/1/1913. LAO.

[160] Lettre de Vesto M. Slipher à Fath du 18/1/1913. LAO

[161] Les longueurs d'onde sont en Angstrom.

Le mois de janvier est bien sur consacré à l'étude des plaques photographiques des spectres obtenus au cours du dernier trimestre de 1912.

Méthode de réduction des données

Slipher place sa plaque photographique sous un microscope de Hartmann qui grossit quinze fois. En effet le spectre mesure environ 3 mm par 10 mm (figure 13). Au centre se trouve le spectre de la nébuleuse, entouré du spectre de référence d'un alliage Vanadium-fer au titre de 1 pour 9. Les raies de ce spectre de référence permettent d'étalonner les raies présentes dans la nébuleuse. Il le compare au spectre du Soleil réfléchi sur la planète Saturne. Il n'y a que quelques dixièmes de millimètres entre le spectre de référence et celui de la nébuleuse. Il repère ensuite des séquences de raies communes aux deux spectres. Le spectre du Soleil a été étalonné et publié[162]. Il est connu depuis Fraunhofer et à fait l'objet d'une cartographie précise. Les mesures s'étendent depuis la raie F jusqu'à la raie H de Fraunhofer. Il constate un décalage entre les raies identiques du spectre de la nébuleuse et celui de Saturne et le mesure grâce au stéréocomparateur. La méthode de calcul a été précisée en détail par Slipher[163] dans son article sur la vitesse radiale des étoiles standard.

La note suivante montre Slipher calculant le décalage le 24 janvier 1913 sur la plaque obtenue les 3 et 4 décembre 1912. Elle indique qu'il s'est rendu compte de sa méprise ; le microscope qu'il utilise pour étudier le spectre inverse en effet l'image :

"Jan 24, 1913

Re-measurement of plate andromeda nebula Dec. 3-6.

Saturn plate as standard

Violet on right (appears left in microscope)"

À partir de vingt-deux raies identifiables sur la plaque il obtient une vitesse moyenne de –332 km/s. Dans l'exemple ci-dessous, la raie Hβ lui donne trois mesures (en millimètres) assez concordantes (colonne de gauche), qu'il compare à la longueur d'onde de référence (colonne suivante). Il soustrait ensuite les deux mesures et obtient un décalage qu'il transforme en vitesse radiale à partir de la valeur moyenne des décalages mesurés (ici les trois décalages sont identiques). La vitesse obtenue est, dans cet exemple, plus lente que lors la précédente mesure:

---

[162] Note de Slipher: "*Rowland et Harrison ApJ 1898 ; VII :263 et pour le fer : « A new table of Standard Wave-Lengths » Astronomy and Astrophysics for April 1893, and Frost's Scheiner's Astronomical Astroscopy, p. 363.*"

[163] (Slipher, 1905)

«.120 .150 30

.112 .142 30 30 756 (1) 227 km/s

.116 .146 30 »

Au total, plus de douze séances de travail, entre le 7 et le 24 janvier, sont consacrées aux mesures de vitesse radiales de la nébuleuse d'Andromède. Le tableau III recense les mesures effectuées.

Date	Vitesse calculée (km/s)
7 janvier 1913	315
9	306
10	275
13	301
22	275
23	298
23	315
24	322

Tableau III : Vitesses obtenues au cours de séances consacrées à la réduction des données et recueillies au cours du troisième trimestre 1912 ; les dates du tableau sont celles des calculs[164]. Les mesures devraient être affectées du signe − selon les conventions en usage.

Que tire Slipher de ces mesures et de ses travaux antérieurs ? Dans une note manuscrite[165] de janvier 1913, il explique que la nébuleuse ne peut être une galaxie d'étoiles et argumente: « If the Andromeda nebula were a galaxy of stars we expect to contain stars of various types and the resulting spectrum not to be so predominantly one type as to fail to show accentuated hydrogen lines at

[164] Working papers. Folder 4.9. LAO

[165] Vesto M. Slipher. Working papers. Folder 4.5 Document n°12. LAO

least if indeed, it did not in that respect appear composite. In such a case it is hard to conceive such a …[166] of each type stars as to have also the obvious deficience of the continuous spectrum beyond K to affirm quite definitely the absence of early type star."

Cette note est très explicite. Slipher indique que si les spirales étaient formées d'amas d'étoiles (« *galaxy of stars* »), alors on devrait trouver des mélanges de types spectraux différents et des étoiles jeunes, ce qui n'est pas le cas. Le mélange de types spectraux a en effet été constaté, à cette époque, dans les amas globulaires.

Très satisfait, Slipher informe Lowell[167] de ses résultats : "... find that the velocity deduced from all measures corrected for the standard plate that were measured against –Saturn- leaves the velocity for the nebula about 300 km per second. I measured the four plates of the nebula which agree as closely as could be expected and I can not doubt the reality of the displacement." Lowell lui répond laconiquement : « It looks as if you had made a great discovery… ». Avant de les publier, Slipher juge bon de soumettre ses observations au prestigieux directeur de l'observatoire Lick, William Campbell avec qui il correspond régulièrement depuis 1903. Il le fait en cachette de Lowell, alors en très mauvais terme avec lui.

Le brouillon de la lettre de Slipher a été conservé[168] : "I wish Many thanks you for your kind letter of February 27, and for the a copy of your inclosing letter to Dr RH Curtiss. I am glad to have the erroneous impression got from formal of Dr Curtiss' article description dispelled corrected, and I have made accordingly revised my copy of the publication correcting the errors.

As when Dr Fath visiting here in September ~~as he was~~ said he thought it unlikely that ~~the~~ his work at Mt Wilson ~~he had been doing~~ on spirals and clusters would be continued ~~and~~ I have since been giving the 2 problems what time I ~~have~~ could show from other work.

~~When closing my first exposure on the sp~~. It is surprising that the Pleiades nebula should show a stellar instead of a gaseous spectrum. I see no other explanation for it than that ~~the~~ than that (sic) the nebula is shining by reflected light of the neighbouring stars.

I have ~~recently~~ got a determination of the radial velocity of the Andromeda nebula. It is so great (roughly of course) – 300 km as to be of particular interest. ~~If we have it~~ One might ~~seem~~ doubt~~ful~~ the efficacy of reflected light to illumin… " ».[169]

---

[166] Le mot est illisisble

[167] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 3/2/1913.LAO

[168] Lettre de Vesto M. Slipher à William W. Campbell, non datée. LAO. Cette letter est transcrite telle qu'elle est écrite.

[169] Transcription du manuscrit dans sa forme d'origine. Le document s'interrompt ici.

Campbell répond par une lettre souvent citée hors de son contexte[170] : « The suggestions which your letter of March 14th made as to the nature of nebular light are very interesting, and they seem reasonable.

The great desideratum at present, however, is good observations of them, and these you seem to have as to their spectra. Your high velocity for Andromeda nebula is surprising in the extreme. I suppose, as the dispersion of your instrument must have been very low, the error of radial velocity measurement may be pretty large. I hope you have more than one result for velocity, and no doubt you have."

Certains historiens ont pris cette lettre comme un signe de suspicion de la part de Campbell. Le plus souvent, à l'appui de leur affirmation, ils ne citent que l'avant-dernière phrase (Smith [171] par exemple). Or l'étude du contexte est capitale. Comme chaque fois que Slipher fait un travail important, il communique ses résultats à Campbell avant de les publier. C'est ce qu'il fait encore une fois ici. Et ce dernier lui fait part de ses commentaires. Le début de la lettre, comme la dernière phrase, montrent toute l'estime et la confiance qu'il a en Slipher comme scientifique. La réalité est que Slipher n'a annoncé à Campbell que la vitesse moyenne et c'est donc tout naturellement que Campbell lui demande de lui préciser le nombre de raies et de plaques utilisées pour ses mesures. Cette question est directement en relation avec la méthode de réduction des données que Campbell a mises au point, et que Slipher utilise. Elle est basée sur l'étude de plusieurs longueurs d'onde de la nébuleuse et du spectre solaire[172]. Campbell veut s'assurer que Slipher a bien effectué cette réduction des données de façon appropriée. Vesto Slipher lui répond[173], le brouillon n'est pas daté mais son contenu est explicite : « I measured 4 plates for the Vr of the and neb – range 284 to 308 km. » Il a effectué, nous l'avons vu de nombreuses mesures sur toutes les longueurs d'ondes individualisables dans les deux spectres, celui de la nébuleuse et celui de l'étoile prise comme comparaison.

Nous voyons également que Campbell souscrit à l'hypothèse de Slipher sur la nature de la nébuleuse d'Andromède et reconnaît que ces vitesses posent la question de l'évolution des étoiles puisque Campbell a montré que les étoiles les plus évoluées avaient les vitesses radiales les plus élevées : « The very high velocities of spiral nebulae are of extreme interest and cannot fail to bear strongly upon questions of stellar evolution. »

---

[170] Lettre de William W. Campbell à Vesto M. Slipher du 9/4/1913. LAO.

[171] (Smith, 1982) p 19 : "*It is not surprising that Campbell was sceptical*."

[172] Pour cela voir l'article de Moore 1907 qui décrit d'une façon claire et détaillée cette méthode. Elle est aussi résumée en annexe.

[173] Lettre de Vesto M. Slipher à William W. Campbell. Non datée. LOA.

Un spectre a été communiqué par Slipher à Wolf qui lui répond le 21 février 1913[174] : « I am highly surprised from the beauty of your spectrum of the Andromeda nebula. It is excellent and your spectroscope must be very much better than mine, because you have got so much with such a short exposure."

Très encouragé par ses résultats et par l'accueil qu'il reçoit de la part de ses collègues, Slipher poursuit son travail sur les nébuleuses dans plusieurs directions : vérification des mesures de vitesses radiales de la nébuleuse d'Andromède, étude de nouvelles nébuleuses et recherches sur leur rotation. Slipher partage son temps entre la prise des spectres au télescope et la réduction des données.

On sait par des échanges de courrier avec John Miller[175] que Slipher est d'abord réticent à publier sa découverte. Il explique en effet à Miller que lorsqu'il a observé le grand décalage spectral pour la nébuleuse d'Andromède il a été prudent («I went slow... »). Il avait peur d'une erreur instrumentale. Par ailleurs, après avoir éliminé la possibilité d'un artefact lié à l'instrument, il se demande si le décalage ne pourrait pas être lié à un éventuel effet dû aux pressions élevées qui doivent régner au sein du noyau de la spirale[176]. Il ne retient pas cette hypothèse, sans que l'on ne sache bien pourquoi. Finalement il semble bien s'agir , pour lui, d'un véritable déplacement et quand il constate que NGC 4594 se déplace dans un sens opposé à celui de Messier 31 et avec une vitesse encore plus grande, il n'a plus de doute : il s'agit bien d'une vitesse de déplacement et non d'un artefact ou d'un problème de pression. Il resterait, dit-il, à étudier le mouvement propre de ces nébuleuses et si possible mesurer une parallaxe ce qui ne paraît pas encore possible. La question des distances est en effet central pour l'interprétation de ces nébuleuses.

Dans le numéro du 28 mars 1913 du *New York Herald*[177] paraît un article non signé. Il déclare que l'hypothèse « formulée par le grand astronome français La Place » vient d'être confirmée par le Dr. V.D. Slipher (sic). Le journaliste fait référence à l'hypothèse favorite de Slipher, celle de la nébuleuse par réflexion (voir paragraphe 4). Il est possible que cette

---

[174] Lettre de M. Wolf à Vesto M. Slipher du 21/2/1913. LOA.

[175] Lettres de Vesto M. Slipher à John Miller du 16/5/1913 et du 2/7/1913 et lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 9 juin 1913. LAO.

[176] Cette question a été reprise par K. Lundmark . Il observe que le rapport $d\lambda/\lambda$ reste constant pour toutes les valeurs de λ pour une nébuleuse donnée (pour Andromède : 0,00116 ± 0,00008) : il s'agit bien d'un effet Doppler. Mais le décalage est-il un mouvement dans la ligne de visée ? Oui car il y a un continuum entre l'observation au laboratoire, l'observation des étoiles puis des amas globulaires et enfin des nébuleuses.

[177] Working papers 1913. LAO.

déclaration ait été faite par Lowell dans son désir de promouvoir son observatoire auprès du public et particulièrement des sponsors.

En avril 1913 Slipher effectue des mesures[178] sur Messier 77 (N.G.C.1068) pour confirmer les premières et s'intéresse à N.G.C.4594, nébuleuse spirale de la constellation de la Vierge[179]. Son spectre est de type solaire[180]. Ses notes de travail datées d'avril 1913[181] indiquent que Slipher découvre que cette spirale se déplace avec une vitesse plus de trois fois supérieure à la nébuleuse d'Andromède et qu'elle s'éloigne du système solaire : « This nebula is leaving the sun with the astounding speed of 1100 km/sec ».

Il informe toujours régulièrement Lowell des résultats[182] obtenus sur les nébuleuses, mais ce qui frappe, en lisant tous les courriers de Lowell à Slipher, c'est son silence écrasant. Il ne s'intéresse qu'aux planètes. La raison de ce manque d'intérêt reste inconnue car on le savait passionné par l'hypothèse cosmogonique de Chamberlin et Moulton. Ces constatations vont à l'encontre des propositions de Hetherington[183] qui estime que l'idée d'étudier les nébuleuses spirales vient de Lowell.

Slipher, comme d'habitude, a fait part à John Miller de l'état d'avancement de ses travaux. Celui-ci le félicite et Slipher[184] qui se dit très encouragé par les paroles de Miller, envisage de publier l'observation de la vitesse radiale de la nébuleuse d'Andromède. Il espère également mesurer des vitesses pour des nébuleuses qui se trouvent du même coté du plan galactique pour savoir si elles se rapprochent ou s'éloignent.

Cet épisode montre le rôle primordial des mises au point techniques, des successions d'essais et d'améliorations qui aboutissent finalement à la réussite finale et des discussions sur d'éventuelles sources d'erreur. Les documents à notre disposition montrent la cohérence du raisonnement. Les travaux antérieurs sont utilisés, qu'il s'agisse des mesures des vitesses radiales stellaires ou des études sur les étoiles nébuleuses. Quant à la théorie, elle n'est pas dominante dans la première partie du travail concernée par l'acquisition des spectres et les

---

[178] Working papers. Box 4 Folder 4. LOA.

[179] Vesto Slipher. Working papers, Folder 4.4 LAO.

[180] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 12/4/1913. LAO.

[181] Working papers. Folder 4.4; n°20 et 21. LAO.

[182] Lettre de Vesto Slipher à Percival Lowel du 16/5/1913 . LAO.

[183] (Hetherington, 1971) et (Hetherington, 1975)

[184] Lettre de Vesto M. Slipher à John Miller du 2 juillet 1913. LAO.

mesures de décalage spectral. Elle n'apparaît que comme une tentative de synthèse des différentes observations. Le travail réalisé intéresse un petit groupe d'astronomes mais il ne semble pas y avoir de réelle concurrence entre eux sur ce sujet, alors même que Fath considère que ces travaux sont d'une grande importance pour ce qu'il appelle la cosmogonie.

3.4.2. Vérifications et extension à d'autres nébuleuses.

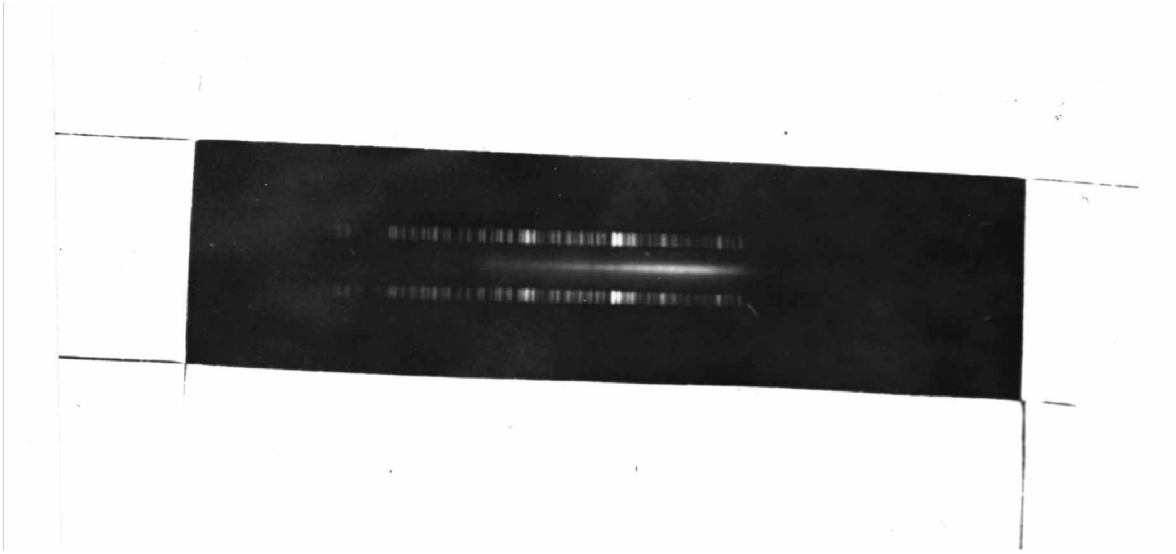
Ses résultats et l'accueil qu'ils reçoivent de la part de ses collègues encouragent Slipher à poursuivre ses investigations. Une note[185] éclaire la façon de travailler de Slipher. Il commence d'abord par une observation minutieuse de la nébuleuse à étudier, sur de bonnes photographies, puis poursuit avec une analyse visuelle de son spectre. Il réalise enfin des mesures de vitesse radiale et de rotation lorsque la qualité des spectres le permet. Cette note montre son enthousiasme et son application à vérifier toutes ses observations: « The nebula NGC 4594 (-43 of Herschel's first catalog) in Virgo is of exceptional interest. Under good conditions it is a telescopic object of great beauty because of the intense black band which divides it longitudinally. It appears to be, and doubtless is, a nebula of the spiral class with its edge turned nearly toward us and its plane of greatest extension nearly coincident with the Earth equatorial plane. This dark lane strongly suggests that the times when the shadow cast across the ball of Saturn by its rings far from their planes, and indeed may have an analogous explanation as will be touched upon later. The nucleus of the nebula is bright and almost stellar. Secondary nuclei common to nebulae of this class appear to be wholly absent from this object. The accompanying photograph made by C.O. Lampland with the 40-inch reflector, shows well the nebula with the dark lane. The exposure is of course too strong for the nucleus as it is completely covered by the enveloping nebula. Telescopic observation having amused my interest in this nebula was one of the first to be studied here spectrographically. My first spectrogram of it showed it to have a radial velocity no less than three times that of the Great Andromeda nebula. In consequence of so great a displacement a second photograph of the spectrum was at once made with the result that the enormous displacement of the first plate was completely duplicated…"

Il s'intéresse aussi à la galaxie « satellite » de la nébuleuse d'Andromède (NGC 221, M32) dont il observe que sa vitesse (-308 km/s) est du même ordre que celle de sa voisine. De cette identité de vitesse, Slipher en déduit[186] que ce qu'il mesure est bien un déplacement et pas un effet de pression bien que la rature du mot 'improbable' puisse jeter un certain doute: « as the velocity of the satellite nebula of the great spiral in Andromeda is the same as that of the primary itself

[185] Vesto Slipher. Note n° 21; Folder 4-4. Working papers. LAO.

[186] Vesto Slipher. Note n°12; Folder 4-7. Working papers. LAO.

seems the velocity interpretation for it shows ~~im~~ [187] probable that “pressure” effect would be the same in the primary and secondary”



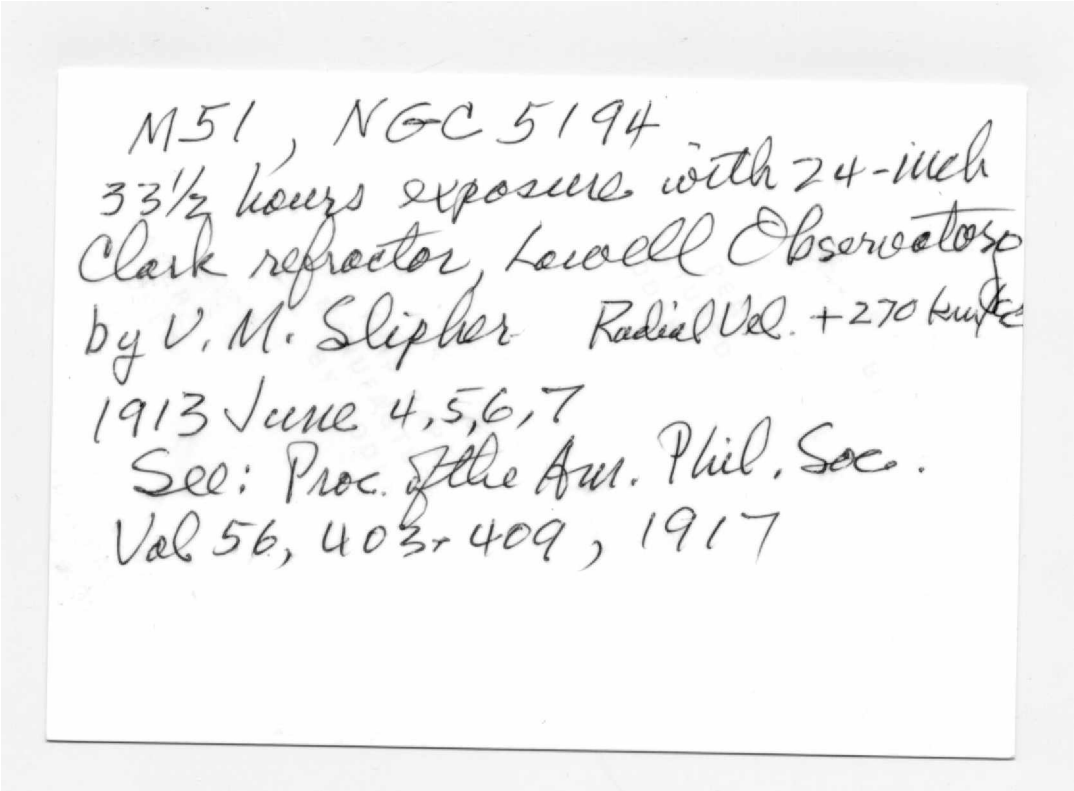


Figure 14 : Plaque et commentaires concernant le spectre de Messier 51.

[187] La note est effectivement barrée dans le texte.

Entre le printemps 1913 et l'été 1914, les vitesses de quinze nébuleuses sont mesurées. Une de ses hypothèses de départ, celle de la négativité des vitesses radiales dans l'hémisphère où se trouve Andromède et la positivité dans l'autre, est infirmée par la constatation de vitesses positives en grand nombre dans cet hémisphère. Par contre, celle de vitesses différentes en fonction de leur inclinaison semble confirmée. Ces questions seront développées plus loin. Dès cette période Slipher communique sur ce sujet avec de nombreux astronomes et en particulier Max Wolf de Heidelberg.

Premières publications, premiers succès.

Slipher publie ses résultats de l'étude de Messier 31 dans le numéro 69 du *Lowell Observatory Bulletin*,[188] après beaucoup d'hésitations et de doutes[189]. Dans cet article, outre la vitesse radiale, il précise que cette nébuleuse possède un spectre de type K, plus tardif que celui du Soleil[190] et que ce spectre n'est pas composite, à l'inverse de celui des amas globulaires. Pour publier, Slipher a eu besoin du soutien d'astronomes bien installés comme Fath et Campbell. Il a ensuite multiplié ses mesures sur la nébuleuse puis vérifié que d'autres spirales avaient des vitesses aussi grandes. Le fait d'observer plusieurs grandes vitesses et que leur direction soit différente, c'est à dire qu'elles s'éloignent du système solaire, lui font penser qu'il ne s'agit pas d'artefacts mais bien d'un phénomène réel. L'article a été écrit après le début du mois de juillet 1913. Il est également envoyé à *Popular Astronomy*[191]. Cette publication simultanée sera renouvelée pour la plupart des travaux de Slipher. Le titre est simplement « *The radial velocity of the Andromeda nebula*".

Il propose un abstract qui est accepté au seizième congrès de l'*American Astronomical Society* qui se tiendra fin décembre à Atlanta (Géorgie):

« Flagstaff spectrograms of nebulae show,(1) that the extraordinary velocity of 300 kilometers of the Great Andromeda nebula is moderate compared with that of N.G.C. 1068, 4565, 4594 and certain other spirals, which have radial motions of the order of one thousand kilometers per second.

[188] (Slipher, 1913a)

[189] Lettre de Vesto Slipher à John Miller du 16 mai 1913. LAO.

[190] (De Vaucouleurs, 1958b)

[191] (Slipher, 1913b) .

And (2) that the spectrum of HV 30[192] is peculiar, as it shows only hydrogen lines; "nebulium" hitherto so universally present, is not represented. This seems to suggest that 'nebulium' may not be a necessary luminous constituent of the gaseous nebulae."

Les retombées du congrès d'Atlanta sont très positives. Le 14 mars 1914, c'est Ejnar Hertzsprung qui le félicite[193]: « My harty (sic) congratulations to your beautiful discovery of the great radial velocity of some spiral nebulae. It seems to me, that with this discovery the great question, if the spirals belong to the system of the milky way or not, is answered to the end, that they do not."

Ainsi, pour Hertzsprung, le travail de Slipher indique clairement que les spirales sont extragalactiques, ce que Slipher est encore loin d'accepter.

Il poursuit: « I shall be glad to see, which velocity in space, and which direction, will come out for the proper movement of the spiral of our own milky way."

Hertzsprung suggère ainsi un travail que Slipher entreprendra lorsqu'il aura de plus nombreuses mesures : celle des vitesses relatives du système solaire par rapport aux étoiles, déjà connue, mais aussi par rapport aux nébuleuses[194].

« A velocity of 1000 km/s in the line of sight corresponds to a change of color[195] of the object observed of 12 Å.U. in the effective wavelength, or of m.06[196] in the color index (m_{pho} – m_{vis}). The difference in effective wavelength between stars of spectra A0 and K0 being about 200 Å.U. and in color index about $1^m.0$. A change in 12 Å.U. in the effective wavelength is just sensible by accurate measurements. I think about the detection of a systematic difference in the colors of spiral nebulae in different parts of the sky – but it will hardly be possible." Ici, c'est le spécialiste, avec Henry N. Russel (1877-1957), de la relation température (ou type spectral ou index de couleur) et magnitude absolue (ou luminosité) des étoiles qui parle[197]. Il aimerait bien pouvoir établir la position des nébuleuses spirales sur son diagramme, pensant que cela donnerait une indication sur leur degré d'évolution. Il est cependant conscient des difficultés : la mesure de l'index de couleur est alors très difficile pour les nébuleuses et Slipher ne tentera pas l'expérience.

---

[192] Classification de Herschel. Elle porte le n° NGC 1977. Elle est située dans Orion. Slipher ne fait pas apparaître ce paragraphe dans sa présentation définitive qu'il concentre sur le seul problème des nébuleuses spirales.

[193] Lettre de Ejnar Hertzsprung à Vesto M. Slipher du 11/3/1914. LAO.

[194] Voir le paragraphe 4.2.

[195] La couleur est assimilée à une longueur d'onde. La notion d'index de couleur est explicitée dans l'annexe 9.

[196] 0,06 m.

[197] Voir annexe 9.3.

« As you will have seen, Professor Fath in Lick Bull. 149, vol 5 p 74,75 talks about a shift to the violet of respectively 10 Å and 8 Å of lines in the spectra of the two globular clusters N.G.C. 7078 and N.G.C. 7089. Professor Fath evidently did not dare to ascribe this shift to radial velocity (see remark at the top of page 75) with certainty. It would be of special interest to see, if the globular clusters show the big velocities of the spiral nebulae."

Vesto Slipher, suivant son conseil, va mesurer plusieurs vitesses radiales d'amas globulaires : il découvre qu'ils sont beaucoup moins rapides que les spirales[198]. Hertzsprung poursuit: « I include a copy of my note on the brightness of the nebulae in the Pleiades. You will see how well my results agree with yours."

La réponse de Slipher [199] montre qu'il a bien compris les idées de Hertzsprung en ce qui concerne les conclusions qu'il pourrait tirer de ses travaux pour la position et les mouvements relatifs du système solaire, de la galaxie et des nébuleuses spirales: « to determine the drift of the spirals with reference to the Milky Way ».

Le second à le féliciter est William Campbell[200]: "I read with great interest the abstract of your Atlanta paper, as published in the last number of Popular Astronomy. The very high velocities of spiral nebulae are of extreme interest and cannot fail to bear strongly upon questions of stellar evolution. You will be glad to know that a few months ago Professor Wright verified your results for the Andromeda nebula.

As you have already stated, one naturally seeks for an explanation other than that of a Doppler effect. There is great interest in determining whether these high velocities are all of the same sign (negative) or whether you have cases opposite in sign. The former condition would encourage us to look further for explanations not based on radial velocities, whereas the latter condition would practically decode the question in favor of the Doppler effect. I should be greatly obliged if you would advise me on this point, as soon as you are ready to make the announcement."

Les questions soulevées par Campbell sont fondamentales. On ne peut manquer d'établir un lien avec les types spectraux des étoiles et les théories sur la relation entre leurs vitesses radiales et leur degré d'évolution que ce dernier a proposé[201]. Existe-t-il une autre explication que l'effet Doppler ? Pour Campbell, le fait qu'il existe des spirales avec des vitesses positives est naturellement un argument en faveur de l'effet Doppler. Slipher, qui

---

[198] (Slipher, 1916c)

[199] Lettre de Vesto M. Slipher à Ejnar Hertzsprung du 8/5/1914. LAO.

[200] Lettre de William W. Campbell à Vesto M. Slipher du 30/3/1914 . LAO.

[201] Ces travaux datent de 1910. Cependant il n'existe pas de relation physique direct entre le décalage et le degré d'évolution des étoiles. Ce n'est qu'une constatation empirique.

s'est déjà posé cette question, ne voit en effet pas d'autre explication[202]. Le second point, qui va occuper Slipher, est celui du signe des vitesses radiales des nébuleuses puisque le faible nombre d'objets mesurés laisse la question non élucidée.

Slipher répond[203] à Campbell en disant que ces études sont longues et difficiles et il lui envoie une copie de l'article qu'il va présenter au congrès de l'AAS d'Evanston, qui répond partiellement à ses questions.

Nous voyons à l'aide de ces deux exemples que les relations entre les astronomes sont étroites et que ces échanges, loin de rester formels, sont riches d'hypothèses et sources de nouvelles études. Hertzsprung, quant à lui, lui propose à la fois une hypothèse intéressante et les tests observationnels à réaliser.

Au cours de l'année 1914, Slipher poursuit ses mesures, à la fois de vitesses radiales et de vitesses de rotation que nous analyserons plus loin. Mais Lowell doit faire connaître les travaux de l'observatoire car il a besoin de sponsors, et il le rappelle à Slipher. Il organise d'ailleurs pour cela une exposition à Boston et Slipher lui adresse[204] un spectre de la nébuleuse spirale de Virgo fait par Lampland et d'autres documents.

Du 25 au 28/8/1914 se tient donc à Evanston un nouveau congrès de l'A.A.S. Slipher présente ses travaux les plus récents sur les observations spectroscopiques des nébuleuses. Sa présentation est accueillie par une « standing ovation »[205]. Il est peut être important de savoir que Edwin Hubble, alors encore en formation, assiste à cette réunion comme en témoignent les comptes-rendus de cette réunion[206].

Nous disposons de deux versions de ce travail. Si le manuscrit de l'article publié dans *Popular Astronomy* est identique au papier imprimé, nous disposons d'un texte probablement antérieur, qui porte le même titre mais qui est beaucoup plus documenté (quinze pages). Les deux documents diffèrent sur deux points. Le manuscrit original relate en détails les instruments utilisés, leurs avantages et leurs inconvénients, précisions qui sont omises dans

---

[202] Il faudra attendre les travaux des cosmologistes et l'utilisation de la Relativité générale pour envisager une autre hypothèse, celle de l'expansion que nous aborderons au paragraphe 6.3.3.

[203] Lettre de Vesto M. Slipher à William W. Campbell du 22/5/1914. LAO

[204] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell du 14/9/1914 . LAO.

[205] (Smith, 1982) p 19.

[206] (Anonymous, 1914)

l'article définitif. De plus, alors que tous les types de nébuleuses étaient décrits (gazeuses et planétaires) en détail dans ce manuscrit, l'article imprimé se limite aux nébuleuses spirales. Mais les deux articles abordent les deux points qui paraissent essentiels à Slipher, celui de la vitesse en fonction de l'inclinaison (les spirales sont des disques qui se déplacent avec une inclinaison variable qu'elles gardent dans leur déplacement dans un milieu résistant) et l'inclinaison des raies spectrales suggérant une rotation. Une autre hypothèse est envisagée, la « *drift hypothesis* ». Dans un premier temps Slipher estime que les spirales semblaient avoir une vitesse positive d'un côté du plan de notre Galaxie et négative de l'autre. Slipher interprétait cela comme un mouvement relatif entre la Voie Lactée et ces nébuleuses que la Galaxie pourrait éventuellement traverser. L'augmentation du nombre des observations, avec une majorité de spirales qui s'éloignent, semble contredire cette hypothèse[207]. Pour Slipher, c'est donc maintenant l'ensemble des nébuleuses spirales qui se déplacent par rapport à la Voie Lactée sans qu'il n'existe une direction privilégiée. Mails le problème de celles qui s'en rapprochent, maintenant les moins nombreuses, n'est pas encore réellement discuté. Il envisagera plus tard, comme nous le verrons, la possibilité de l'existence d'amas de nébuleuses.

Une lettre de Campbell[208] confirme l'appréciation des travaux de Slipher par cet astronome influent, mais aussi celle de la communauté: « I was very much pleased to receive your letter and a copy of your manuscript on "Spectrographic observations of nebulae". I have read both with extreme interest and am handling the manuscript on to my colleagues. Let me congratulate you upon the success of your hard work and carefully made plans for determining radial velocities of nebulae. Your results compose one of the greatest surprise which astronomers have encountered in recent times. The fact that there is a wide range of observed velocities, -some of approach and some of recession – lends strong support to the view that the phenomena are real; nevertheless, the fact that so large a proportion of velocities are abnormally high should lead us to hold in mind, I think, the search for an explanation other than that of the Doppler-Fizeau effect. The rotation observed in N.G.C. 4584 is especially interesting and important. Wolf observed a similar effect in M 81, as reported by Turner in the Oxford Note Book recently. I hope you will be able to get additional observations of the same kind…

Plus tard[209] Campbell demande à Slipher de lui communiquer ses derniers résultats pour les utiliser, en citant leur auteur, dans son discours de fin de mandat de Président de l'*American Association for the Advancement of Science*. Slipher lui communique le texte de sa future présentation au congrès de l'*American Astronomical Society* (AAS). En effet, du 30

[207] (Slipher, 1915).
[208] Lettre de W.W. Campbell à Vesto M. Slipher du 2 novembre 1914. LOA.
[209] W.W. Campbell à V.M. Slipher. 6 décembre 1916. LOA.

août au 2 septembre 1916 se tient à Swarthmore le 19e congrès de l'AAS. Slipher présente deux sujets: "Spectrographic observations of nebulae and star clusters" qui paraît aussi dans *Popular Astronomy*[210] et « Spectral evidence of a persistent aurora »[211]. Comme il ne peut se rendre à ce congrès, il les fait lire par son collègue, John Duncan. Le nouveau travail inclut les observations de vitesses radiales d'amas globulaires. Slipher dispose maintenant de 24 mesures de vitesses de spirales qui lui donnent une vitesse moyenne de 400 km/s, incluant les spirales qui se rapprochent et celles qui sont en récession et confirment ses nouvelles hypothèses sur les mouvements relatifs qu'il va bientôt exposer. Le spectre de la nébuleuse d'Andromède est de type solaire, sans mélange de différents types stellaires comme il en observe dans les amas globulaires, ni de raies d'émission. Par contre d'autres se rapprocheraient des amas globulaires comme N.G.C. 4736. La nébuleuse N.G.C 4449, pour sa part, possède en outre des raies d'émission et N.G.C. 5236 la raie du « Nebulium », découverte pas Huggins[212], superposée à un spectre stellaire de type «précoce » selon la classification de Harvard. Les amas globulaires ont des vitesses radiales beaucoup plus faibles que celles des nébuleuses spirales et, au contraire des spirales, les vitesses négatives semblent prépondérantes.

Inlassablement Slipher poursuit ses mesures comme l'illustre le tableau suivant issu des « Working papers ». (tableau IV). Au mois de mars il prend connaissance d'une lettre à l'éditeur de l'astronome John Reynolds (1874-1949) qui conteste la valeur de ses mesures de vitesses radiales. Slipher lui répond au mois de juin dans le même journal. Nous en discuterons en détail au paragraphe 5.

Est-ce pour cela que Slipher vérifie minutieusement les mesures faites sur Messier 77 ? Toujours est-il que du 6 au 8 novembre 1917, il obtient de nouvelles mesures et que du 12 au 16 novembre, il les renouvelle avec un spectrographe fait de deux prismes et une exposition totale de 35 heures. Au total, avec les plaques du 6 novembre 1916 et celles des 22-23 novembre 1913 il possède, pour Messier 77, six mesures qui lui donnent une vitesse moyenne de +1120 km/s. Il reprend également les mesures de la vitesse de la nébuleuse d'Andromède[213]. Sa réponse à Reynolds paraît au mois de juin suivant avec beaucoup de précisions et d'assurance.

---

[210] (Slipher, 1917b)
[211] (Slipher, 1916c)
[212] voir l'annexe 2

[213] Working papers. Folder 4-7: n°14 et au-delà. LOA.

Nom	Date	Vitesse
M33 NGC 598	24/01/1917	-230
M33 NGC 598	17/02/1917	-263
NGC 3623 m 65 Leonis	28/02/1917	826
NGC 3489	05/03/1917	+825 very doubtful, weak plate
NGC 4565	05/03/1917	1139
NGC 5055	05/03/1917	918
NGC 4526	06/03/1917	634
NGC 5055	08/03/1917	457
NGC 5236	09/03/1917	– 263
NGC 4649	12/03/1917	1090
M81 NGC 3031	14/03/1917	–35 km/s
NGC 5194	14/03/1917	+271 km/s
NGC 2683	17/3/1917	426
NGC 1331	22/03/1917	530
NGC 4826	22/03/1917	155
NGC 1073	28/03/1917	784
NGC 3627 M66 Leo	31/03/1917	758
NGC 3521	13/11/1917	–731

Tableau IV : Liste des observations et des mesures faites par Vesto Slipher en 1917 sur de nouvelles nébuleuses spirales (Working papers).

Invité à plusieurs reprises par John Miller, Slipher présente le 13 avril 1917 un article de synthèse à l'*American Philosophical Society*. Il est intitulé simplement « Nebulae ». Il est

publié dans les *Proceedings of the American Philosophical Society* [214]. Il dispose maintenant du spectre de 25 nébuleuses spirales. Les mesures sont toutes précisées. Elles varient de – 300 km/s à + 1100 km/s. La moyenne est de 502 km/s[215] (tableau V) et la distribution est asymétrique en direction des valeurs plus grandes que la moyenne. Les vitesses sont environ trente fois celles des étoiles et ce caractère suffirait pour Slipher à en faire une classe à part. Il signale qu'en raison de la sous exposition de certains spectres, les valeurs sont exactes à ± 100 km/s, c'est à dire à environ 20% de leurs valeurs, ce qui est dit-il de l'ordre de la précision sur la vitesse radiale des étoiles (allusion à la critique de Reynolds ; voir paragraphe 5). Pour la première fois, Slipher fait état des mesures, peu nombreuses, réalisées par d'autres astronomes et qui sont proches des siennes (Wright et Moore (1878-1949) à Lick, Francis Pease (Adams, 1938) au Mont Wilson et Wolf à Heidelberg). Les nébuleuses dont la vitesse est positive sont toutes dans une région du ciel proche de l'ascension droite 12 heures, riche en spirales. Au point opposé, quelques spirales se rapprochent de nous et Slipher espère qu'avec un plus grand nombre de mesures d'autres spirales auront une vitesse négative. Il regrette que la distribution des vitesses ne soit pas plus homogène dans le ciel. En effet, il rappelle que pour les étoiles, Campbell a montré que dans la direction de la constellation d'Orion, les étoiles sont en récession et s'approchent dans la direction opposée. Il a pu ainsi mesurer la vitesse du Soleil parmi les étoiles, en direction de l'Apex. Slipher espère pouvoir le faire avec les nébuleuses. Dès à présent il formule l'hypothèse que tout le système stellaire pourrait se déplacer « en nous emmenant avec lui ». Il est maintenant en faveur de l'hypothèse des univers-îles (voir paragraphe 4).

[214] (Slipher, 1917a)

[215] Slipher donne 570 dans l'article.

No N.G.C.	Vitesse en km/s		
221	-300	4526	580
224	-300	4565	1100
598	-260	4594	1100
1023	300	4649	1090
1068	1100	4736	290
2683	400	4826	150
3031	-30	5005	900
3115	600	5055	450
3379	780	5194	270
3521	730	5236	500
3623	800	5866	650
3627	650	7331	500
4258	500	Moyenne	502

Tableau V : Vitesses radiales des 25 spirales.

Dans ce même article, *Nebulae*, Slipher montre que les spirales possèdent des vitesses différentes selon leur inclinaison sur la ligne de vision (Tableau VI).

Face View Spirals		Inclined Spirals		Edge View Spirals	
N.G.C.	Vel.	N.G.C.	Vel.	N.G.C.	Vel.
598	-260	224	-300	2683	400
4736	290	3623	800	3115	600
5194	270	3627	650	4565	1100
5236	500	4826	300	4594	1100
		5005	920	5866	600
		5055	450		
		7331	500		
Mean	330 km		560 km		760 km
Moyenne	*200*		*474*		*760*
Ecart type	*323*		*401*		*320*
Nombre	*4*		*7*		*5*

Tableau VI : "Velocities of Spiral Nebulae Grouped". La moyenne calculée par nous est différente car Slipher fait la moyenne des valeurs absolues (vel=velocities). Un test de Student montre l'absence de relation statistiquement significative.

Enfin Slipher aborde la question de la rotation des spirales (voir paragraphe 3.5). Au mois de décembre Slipher fait paraître un nouvel article dans le bulletin de l'observatoire. Il concerne une nébuleuse particulière sur laquelle il a beaucoup travaillé : N.G.C. 1068 (Messier 77). Cet article est reproduit dans *Popular Astronomy*[216]. Après avoir relaté l'histoire de sa découverte, Slipher rappelle que Fath en 1908 avait décrit un spectre comportant des raies d'absorption mais aussi des raies d'émission. En 1913, le spectre de Slipher confirme celui de Fath avec des raies de Fraunhofer (celles trouvées dans le Soleil) mais il montre en outre deux observations importantes : le décalage vers le rouge des raies spectrales et leur inclinaison évoquant une rotation. Ces observations ont été publiées lors du congrès

[216] (Slipher, 1917c)

d'Evanston et depuis, d'autres astronomes ont confirmé ses observations (Pease au Mont Wilson et Moore à Lick). Plus récemment Slipher a pu obtenir deux excellents spectres dont l'un avec deux prismes. Il montre que les raies d'émission ne sont pas des artefacts. Outre qu'ils confirment les données précédentes, ces spectres montrent très clairement des raies de l'hydrogène au-delà de celles de nebulium N1 et N2. Ce spectre montre sans ambiguïté que la nébuleuse est en rotation avec une vitesse de 300 km/s à une minute d'arc du noyau central, vitesse encore plus rapide que celle de N.G.C. 4594 mesurée à 100 km/s. Suit un tableau des mesures de vitesse effectuées :

Plate	1913	November 6,	Velocity	- 1060 km.
Plate	1913	November 22, 23,	Velocity	- 1150
Plate	1917	November 6, 7, 8,	Velocity	- 1080
Plate	1917	November 12 to 16, two prisms	Velocity	- 1130 s
			Velocity	- 1145 c
			Velocity	- 1135 c
		Mean velocity		- 1120 km

Tableau VII Vitesses radiales de Messier 77. La moyenne est de 1117 ±30 km/s que Slipher a arrondi à 1120.

Il termine en ébauchant une question qui lui tient à cœur et qu'il reprendra plus tard, celle de l'orientation de la nébuleuse lorsque celle-ci est inclinée. La partie montrant une bande noire est, pour lui, celle qui est la plus proche de nous. Ainsi cette nébuleuse nous montre une rotation « semblable à un ressort que l'on remonte ».

Cette même année, Slipher est nommé conseiller de l'*American Astronomical Society* (AAS). Il le restera jusqu'en 1922. Dès lors les travaux sur les nébuleuses se raréfient. Plusieurs raisons peuvent expliquer cela. D'abord il fait fonction de directeur de l'observatoire depuis la mort de Lowell en 1916. Ensuite il est nommé, en 1922, président de la commission 28 de l'*Union Astronomique Internationale* (voir chapitre 5) consacrée aux nébuleuses. Enfin et surtout, les nébuleuses suffisamment brillantes pour être étudiées avec son matériel ont presque toutes été inventoriées et les moyens financiers de l'observatoire Lowell ne lui permettent pas de suivre le Mont Wilson dans la course aux télescopes géants.

DREYER NEBULA NO. 584 INCONCEIVABLY DISTANT
By Dr. VESTO MELVIN SLIPHER, Assistant Director of the Lowell Observatory, Fl...
New York Times (1857-Current file); Jan 19, 1921; ProQuest Historical Newspapers The New Yo
pg. 6

DREYER NEBULA NO. 584 INCONCEIVABLY DISTANT

Dr. Slipher Says the Celestial Speed Champion Is 'Many Millions of Light Years' Away.

By Dr. VESTO MELVIN SLIPHER,
Assistant Director of the Lowell Observatory, Flagstaff, Ariz.

FLAGSTAFF, Ariz., Jan. 17.—The Lowell Observatory some years ago undertook to determine the velocity of the spiral nebulae—a thing that had not been previously attempted or thought possible. The undertaking soon revealed the quite unexpected fact that spiral nebulae are far the most swiftly moving objects known in the heavens. A recent observation has shown that the nebula in the constellation Cetus, numbering 584 in Dreyer's catalogue, is one of very exceptional interest.

Like most spiral nebulae, this one is extremely faint, and to observe its velocity requires an exceedingly long photographic exposure with the most powerful instrumental equipment. This photograph was exposed from the end of December to the middle of January in order to give the weak light of the nebula's spectrum time to impress itself upon the plate. It is necessary to disperse the nebular light into a spectrum in order to observe the spectral lines, and to measure the amount they are shifted out of their normal positions, for it is this displacement of the nebula's lines that discloses and determines the velocity with which the nebula is itself moving.

The lines in its spectrum are greatly shifted, showing that the nebula is flying away from our region of space with a marvelous velocity of 1,100 miles per second.

This nebula belongs to the spiral family, which includes the great majority of the nebulae. They are the most distant of all celestial bodies, and must be enormously large.

If the above swiftly moving nebula be assumed to have left the region of the sun at the beginning of the earth, it is easily computed, assuming the geologists' recent estimate for the earth's age, that the nebula now must be many millions of light years distant.

The velocity of this nebula thus suggests a further increase to the estimated size of the spiral nebulae themselves as well as to their distances, and also further swells the dimensions of the known universe.

Reproduced with permission of the copyright owner. Further reproduction prohibited with

Figure 15 : Fac similé de l'article de Slipher.

Cependant il va faire encore quelques observations[217] . Deux spirales ont des vitesses radiales encore plus élevées que celles observées jusqu'alors. C'est d'abord N.G.C. 986, une nébuleuse située dans la Baleine. Sa vitesse radiale est de 1300 km/s. Son spectre semblable à celui du Soleil. La seconde N.G.C. 584, également dans la Baleine, a une vitesse encore plus extraordinaire de 1800 km/s. Cette dernière fait l'objet d'un signalement parmi les circulaires publiées par le *Harvard College Observatory* destinées à alerter rapidement le milieu astronomique (la vitesse est passée à 2000 km/s). Slipher communique alors cette information à la presse. Un article du *New York Times*[218] du 19 janvier 1921 écrit par Slipher lui-même mérite d'être cité en entier. En effet son titre ne fait pas état de sa vitesse mais de sa distance, ce qui est totalement nouveau car elle n'a pas encore été mesurée. Que dit Slipher ? D'abord que cette nébuleuse a un éclat excessivement faible ayant nécessité une pose

[217] (Slipher, 1921c)

[218] (Slipher, 1921a)

de 28 heures sur une période de deux semaines. Sa vitesse est extraordinaire : 1100 miles par seconde. Quelles conclusions tire Slipher de ses observations ? D'abord que cette spirale, si faible, doit être à la fois très éloignée et très grosse. Son hypothèse est alors que les nébuleuses spirales étaient toutes réunies (avec la notre) au moment de leur formation. Avec cette hypothèse, (qui évoque pour nous celle du Big Bang) associée à l'âge de la Terre qui vient d'être estimé par les géologues, il lui est facile de calculer que cette nébuleuse doit être à plusieurs millions d'années-lumière de notre système solaire. Et il conclut : « La vitesse de cette nébuleuse suggère ainsi une extension plus grande de l'estimation de la taille des nébuleuses spirales elles-même, ainsi que de leurs distances mais aussi élargit davantage les dimensions de l'univers connu. »[219]

Au congrès de l'AAS qui se tient à Middleton (Connecticut) du trente août au premier septembre 1921, Slipher publie un de ses derniers articles sur les nébuleuses : « *Further notes on spectrographic observations of nebulae and clusters* ». Ses dernières mesures confirment la très large prédominance de la récession des spirales. Il remarque aussi certains regroupements. Celles des spirales qui ont une vitesse négative sont regroupées dans une petite région du ciel (Andromède-Triangle) alors que les autres sont plus dispersées. Il poursuit ensuite par une étude de cinq nouveaux amas globulaires qui s'ajoutent aux dix déjà mesurés. Leur vitesse radiale moyenne est de 70 km/s en tenant compte du signe. Ils se placent, du point de vue de leur vitesse entre celle des étoiles et celle des spirales.

Au total, Vesto Slipher aura publié la vitesse radiale de 31 nébuleuses[220].

3.4.3. Les travaux sur les vitesses radiales des contemporains de Slipher.

Dès que les travaux de Slipher sont publiés, plusieurs astronomes s'attachent à reproduire ses mesures. En Europe, Max Wolf (1863-1932) alors directeur de l'observatoire Königstuhl de Heidelberg en Allemagne fait autorité sur le sujet. Il a en effet publié seize listes de nébuleuses avec plus de 6 000 objets, dont la plupart n'étaient pas référencées dans le catalogue NGC[221]. Le 21 juillet 1913 il écrit à Slipher[222] : «I am highly surprised from the beauty of

[219] Traduction personnelle.

[220] Voir l'annexe 12.

[221] N.G.C. New General Catalog de Dreyer. Il remplace le General Catalog des Herschel.

[222] Max Wolf à Vesto Slipher du 21/2/1913. LAO.

your spectrum of the Andromeda nebula. It is excellent and your spectroscope must be very much better than mine, because you have got so much with such a short exposure. I should like to know how your apparatus is constructed. Mine is very roughly made because there are no means for such "useless things" ». Aux États Unis, les deux grands observatoires, celui de Lick au Mont Hamilton et celui du Mont Wilson vont répéter les mesures. Ces observatoires privés sont financés le premier par James Lick (1796-1876) et l'autre par Andrew Carnegie (1835-1919), deux riches self-made-men. Ils sont tous deux construits à l'instigation de George Ellery Hale (Wright, 1994), un astronome très entreprenant, passionné et fondateur de l'astrophysique[223].

Ainsi, Wolf à Heidelberg[224] et William Hammond Wright, à l'observatoire Lick[225] produisent des mesures très voisines de celles de Slipher pour la nébuleuse d'Andromède[226]. Francis Pease au Mont Wilson[227] mesure NGC 4594 et trouve une valeur de +1180 km/s, proche des +1100 trouvés par Slipher. Joseph Haines Moore à Lick étudie la nébuleuse Messier 77 (Slipher, 1917c). Les mesures sont ici discordantes : 1 100 km/s pour Slipher, 765 pour Pease[228] et 910 pour Moore[229], mais nous pouvons remarquer que cette spirale possède un éclat plus faible que la grande nébuleuse d'Andromède et que malgré cela, les ordres de grandeur sont conservés.

La grande différence entre les travaux de Slipher et ceux de ses collègues réside dans le caractère systématique des investigations du premier alors que les mesures de chacun des autres observatoires sont peu nombreuses et ne participent pas d'un projet spécifique. Campbell[230], dans une lettre à Pease du 18 juillet 1916, déclare en effet « We have no intention of taking up this observations of spiral nebulae, at least by slit spectrographs, in the near future…"

3.5. La rotation des spirales

L'intérêt des astronomes pour la question de la rotation des nébuleuses spirales provient des hypothèses avec lesquelles cette rotation est corrélée. Celle de Pierre-Simon de Laplace[231],

[223] Voir sa biographie in (Wright, 1994)
[224] Lettre de Wolf du 13 juin 1910. LOA.
[225] Lettre de Wright du 14 août 1914. LOA.
[226] Travaux rapportés par Slipher V.M. in (Slipher, 1917b)
[227] (Pease, 1917b)
[228] (Pease, 1915)
[229] Moore cité par Slipher dans (Slipher, 1917a)
[230] Lettre de William W. Campbell à Francis G. Pease du 18/7/1916. Lick O.A.
[231] (Gillispie et al., 1997). P. S. de Laplace, Oeuvres complètes de Laplace publiées sous les auspices de l'Académie des Sciences, par MM les secrétaires perpétuels., Paris, Gauthier-Villars, 1878. « L'Exposition

mais aussi celle de Thomas Chamberlin (1843-1928) et Forest Moulton (1872-1952)[232] sur le système solaire, impliquent une rotation d'un disque nébulaire. Les nébuleuses spirales pourraient donc représenter pour certains astronomes des exemples précoces d'un tel système. En outre, la mesure de la période de rotation, plus ou moins grande, interfère avec les hypothèses sur leur position intra ou extragalactique ainsi que sur leurs masses : plus la période de rotation est faible plus l'objet doit être en principe rapproché.[233]

Avant 1912, l'image même des nébuleuses spirales incitait les astronomes à voir dans ces formes la conséquence d'un mouvement de rotation. Les premiers dessins de William Parsons, Lord Rosse (Rosse, 1926), permettent une analogie entre la forme de ces spirales et des observations communes, comme la rotation d'un liquide qui s'évacue, par exemple dans une baignoire. Le photographe Isaac Roberts (1829-1904) avait été le premier à penser « voir » une rotation sur deux photos successives de la même nébuleuses.

Plusieurs astronomes avaient tenté de mesurer un mouvement de rotation des nébuleuses. Les Français Buisson, Fabry (1867-1945) et Bourget avaient utilisé l'interféromètre mis au point par Perot (1863-1925) et Fabry [234] pour déceler un mouvement de rotation de la nébuleuse d'Orion [235] mais ils n'avaient pas appliqué leur appareillage à l'étude des spirales.

La question de la rotation de ce type particulier de nébuleuses, les « spirales », peut être divisée en deux problèmes. Le premier est observationnel, c'est celui de la vitesse de rotation et du mouvement des bras spiraux. Le second prend sa source dans la confrontation entre les théories dynamiques, comme la théorie des gaz en rotation et les observations de ces mouvements. La question de la rotation a donné lieu à des informations contradictoires entre les mesures de Vesto Slipher (1875-1969) et Francis Pease (Adams, 1938) d'une part et Adriaan van Maanen (1884-1946) d'autre part, puis entre Slipher, Edwin Hubble (Fox, 1997)

---

du système du monde » publié pour la première fois en 1796 puis remanié jusqu'en 1846. Pour plus de détails, voir l'annexe 4.

[232] (Chamberlin, 1916), (Moulton, 1916)

[233] Une courte période de rotation suppose soit des objets relativement proches, soit des vitesses circulaires extrêmement grandes. Cette dernière hypothèse est rejetée à cette époque. Par exemple Crowe (Crowe, 1994) page 255 montre qu'avec une distance de 10 millions d'a.l. pour Messier 101 et avec la période de rotation donnée par van Maanen de 8 500 ans, alors la vitese circulaire serait de 1,7 fois la vitesse de la lumière.

[234] (Fabry and Buisson, 1911)

[235] (Buisson et al., 1914)

et Bertil Lindblad (Oort, 1966) pour ce qui concerne le sens de rotation des bras spiraux. Deux méthodes peuvent en effet s'appliquer, en 1912, à l'étude et à la mesure de la vitesse de la rotation des nébuleuses spirales. La première consiste à étudier les mouvements des points de la spirale sur des photographies prises à deux périodes assez éloignées dans le temps : c'est celle des mouvements propres utilisée depuis longtemps dans l'étude des étoiles. La seconde découle de la spectroscopie et de l'effet Doppler-Fizeau. Une fente est placée dans le grand axe de la nébuleuse et, s'il existe une rotation, une des extrémités de la nébuleuse devrait se rapprocher et montrer un décalage des raies spectrales vers le bleu alors qu'à l'autre extrémité on devrait observer un décalage vers le rouge. La rotation des planètes a été étudiée avec ce principe, en particulier par Slipher. Ces deux méthodes sont toutes les deux validées dans les domaines de l'astronomie planétaire et stellaire.

Les résultats de la première méthode, utilisée par Adriaan van Maanen à l'observatoire du Mont Wilson ont été analysés précisément par plusieurs historiens. Le détail des événements est relaté dans l'annexe 3.4. L'intérêt porté par ces historiens au cas van Maanen, tient à la polémique générée par ses mesures de rotation, qui s'avèreront erronées, et par leur réfutation par Edwin Hubble. Au contraire les études spectroscopiques de Vesto Slipher et de Francis Pease n'ont pas été analysées avec la même précision historique. C'est le but que nous nous sommes fixé dans ce travail, à partir des archives de l'observatoire Lowell et d'une étude des publications des différents protagonistes. Le second intérêt de l'étude historique des rotations des nébuleuses spirales tient notamment à l'impact des observations sur les théories, illustré ici par les publications du physicien britannique James Jeans.

3.5.1. La mesure spectrographique de la vitesse de rotation par Vesto Slipher.

Elle combine une mesure de rotation spectrographique et une orientation de la nébuleuse par rapport à l'axe de vision.

En réalisant ses spectres des nébuleuses spirales, Slipher s'aperçoit très rapidement, dès 1912, que les raies sont inclinées. Ce phénomène, il le connaît bien pour l'avoir étudié sur les planètes dont il a pu mesurer la vitesse de rotation, pour la première fois en ce qui concerne Uranus. Il appliquera donc tout naturellement la même méthode aux spirales. Dans un manuscrit[236] il écrit : « … the lines of the spectrograms of the Virgo nebula NGC 4594 are inclined. The

[236] Working papers. "*Paper read at Evanston meeting. Aug. 1914*". LAO.Folder 4.4 L.O.A.

inclination recalls that shown by a spectrogram of Jupiter made with the spectrographic slit on the equatorial diameter." Il était donc naturel pour lui d'appliquer la même méthode pour déterminer la vitesse de rotation des spirales. Il écrit dans ses notes d'observations en avril 1913, à propos de NGC 4594: « By its inclined lines this plate furnished direct evidence that nebulae rotate », le phénomène est ensuite analysé systématiquement sur de nombreuses raies pour chacune des spirales.

Aspects techniques.

Les premières observations sont faites avec l'appareillage familier de Vesto Slipher pour l'étude des nébuleuses : la lunette de 24 pouces et le prisme unique. Un document[237] dactylographié et largement annoté de sa main précise les problèmes rencontrés et leur solution. Il n'est pas daté, mais en se basant sur ses papiers de travail, on peut estimer qu'il a été écrit probablement après le mois de janvier 1916, car il incorpore des données de la fin de l'année 1915. Pour tester la meilleure combinaison matérielle, Slipher réalise plusieurs expériences entre le 12 janvier et le 7 octobre 1915. Il en conclut qu'il faut faire des compromis. L'ouverture de la lunette devrait se situer entre 6 et 24 pouces. Il pourrait diaphragmer la lunette de 24 pouces mais cela l'obligerait à rajouter une lentille à son spectrographe ce qui lui ferait perdre de la lumière et le spectre serait moins précis. Il utilise deux spectrographes, l'un formé d'un seul prisme et l'autre de deux. Le meilleur résultat est obtenu avec le prisme unique, sauf pour les plus lumineuses des nébuleuses ou deux prismes donnent une meilleure dispersion. Les spectres de référence sont ceux du fer et du vanadium.

La prise du spectre destiné à l'étude des rotations, consiste à placer la fente sur le grand axe d'une spirale inclinée. Avec cette configuration, la partie centrale de la nébuleuse montre un décalage correspondant à la vitesse radiale de la nébuleuse dans son ensemble. La partie qui s'éloigne de la ligne de visée montre un décalage supplémentaire vers le rouge et la partie qui se rapproche un décalage moins important. La méthode de réduction des données est décrite pour la rotation des planètes dans deux articles de 1903 et de 1904[238]. L'inclinaison des raies est mesurée avec le microscope de Hartmann.

---

[237] Manuscrit incomplet intitulé « The rotation of the Great Andromeda nebua » ; VM1412. LOA.Ce document n'a pas été, à notre connaissance, publié par Slipher.

[238] (Slipher, 1903b), (Slipher, 1903a) et (Slipher, 1904a)

Les résultats.

Objet étudié	Dates	Matériel	Exposition (heures)	Nombre de mesures	Vitesse
Andromède	12, 14, 17 et 19 janvier 1915	6 inch telescope, one prism	15h	-	-
	7 au 11 juillet 1915	24 inch, two prisms	19 ½	10	Mean Δφ=1°,67
	Id	id	Id	12	Mean Δφ=2.7
	Id	Id	Id	12	Mean Δφ=2.6
	7 au 11 août	6-inch, two prisms	27 ½	15 raies différentes	Mean Δφ=+2°7’
	4 au 7 octobre	24-inch, two prism	27 ½	12	Δφ=+2°4’
	Id	id	Id	13	Mean Δφ=2.22
	16-21 novembre	NP	NP	12 raies	Mean Δφ=1°.7

Tableau VIII: Mesures effectuées par Slipher sur la vitesse de rotation de la nébuleuse d’Andromède ($\Delta\varphi = \varphi_0 - \varphi$) où φ_0 est la distance angulaire de la raie de comparaison et φ celle de la raie de la nébuleuse.

Λ	φ		φ_0		Δφ
4182 dble	5.°3		2.4		2.2
88	4.2	4.6	2.4	2.4	
	4.3				
	4.6				
4200 dbl	5.4		-		3.4
	5.8				
	5.8				
4227	4.6		2.4		2.6
	5.4	5.0	2.3	2.3	

Tableau IX : Exemple de calculs effectués par Slipher tirés des Working papers. Ils concernent la nébuleuse d'Andromède. Pour chaque raie il calcule la valeur moyenne de deux évaluations qui dépendent de la position de l'appareil photo par rapport au prisme. Certaines raies sont doubles (dbl).

Il indique, dans sa présentation au congrès d'Evanston[239] que pour N.G.C. 4594 (situé dans la constellation de la Vierge), l'inclinaison est d'environ quatre degrés et que cela correspond à une vitesse circulaire d'environ 100 km/s, à 20'' du centre de la nébuleuse. Une note[240] tirée des *Working papers* illustre cette découverte : »… And as the lines appeared inclined a third spectrogram was made in 1913. While it did not, unfortunately receive the exposure intended, it nevertheless completely verified the earlier ones both as regard the exceptional displacement and the inclination of the nuclear lines''. La première publication dans le bulletin de l'observatoire Lowell[241] porte la date de mai 1914. Dans ce court article il peut affirmer, à partir de son étude de N.G.C. 4594, que la nébuleuse est en rotation et dit-il, bien qu'on pense depuis Laplace que les nébuleuses

[239] XVIIe congrès de l'A.A.S.(American Astronomical Association). Du 25 au 28 août 1914.

[240] Vesto Slipher. Note n°21.Working papers. Lowell Observatory Archives (LOA).

[241] (Slipher, 1914a)

sont en rotation, c'est la première fois que ce phénomène est vérifié[242]. Le mois suivant un article semblable paraît dans *Scientific American*[243]. Slipher est enthousiaste: "If Laplace could have seen this nebula as it really is, he might have found in it a satisfactory illustration of his nebular hypothesis."[244] Par ailleurs il estime qu'il tient dans cette découverte un excellent moyen d'étude de l'évolution stellaire et nébulaire, dans le cadre de la théorie d'une nébuleuse protostellaire semblable à celle élaborée pour le système solaire.

À la fin de l'année 1915, une discussion s'établit avec Campbell. En effet cette question de la rotation des nébuleuses spirales intéresse le directeur de Lick[245]. Dans une lettre du 4 décembre 1915[246], Slipher l'informe qu'il a obtenu des plaques photographiques de la nébuleuse d'Andromède qui montrent une rotation et que d'autres études la confirment. Il soumet à Campbell le problème de la détermination du bord le plus proche de l'observateur. En effet, la rotation des bras de la spirale dépend du repérage de ce bord[247]. Dans sa lettre de réponse[248], Campbell n'apporte pas de solution, mais il presse Slipher de publier sans tarder son travail sur la rotation des spirales. Il le fera au XIXe congrès de l'A.A.S.[249]

Les photographies de spectres se multiplient et leurs observations visuelles encouragent Slipher[250] : « additionnal cases of rotating nebulae have been met with in the and. Neb. M65, M66 and less incidentally in still other cases. The form of the spectral lines of the andromeda nebula in particular denotes a greater irregular velocity near the nucleus than further ant[251], but measures for these are difficult and

---

[242] Comme nous l'avons déjà mentionné, c'est Campbell qui en novembre 1914 (voir correspondance) lui fait part d'une observation semblable de Wolf : « The rotation observed in N.G.C. 4584 is especially interesting and important. Wolf observed a similar effect in M 81, as reported by Turner in the Oxford Note Book recently. I hope you will be able to get additional observations of the same kind. » La seule mention imprimée, citée par Slipher, serait dans Gesellschaft 48 Jahrgang p 162.

[243] (Slipher, 1914b)

[244] En 1914, Slipher n'a pas encore abandonné l'hypothèse nébulaire. Il l'abandonnera en 1917.

[245] Op. cit. Lettre de William Campbell à Vesto M. Slipher du 2/11/1914. LOA.

[246] V.M. Slipher à W.W. Campbell. 4 décembre 1915. LOA.

[247] L'image du ressort qui est soit remonté soit qui se détend est utilisée par les astronomes de cette époque. Les mesures par effet Doppler ne renseignent que sur la vitesse mais il faut orienter la nébuleuse spirale pour déterminer le type de mouvements des bras spiraux pouvant aboutir à un élargissement ou à une contraction de la nébuleuse spirale.

[248] W.W. Campbell à V.M. Slipher. 11 décembre 1915. LOA.

[249] Congrès d'Evanston du 25 au 28 août 1914. .

[250] Working papers. Folder 4-7: Vesto M. Slipher – Rotation of Great Andromeda nebula 1915. Discovered at Flagstaff 1915. LOA.

[251] sic

not precise enough to express the motion quantitatively. This type of rotation or internal motion promises to be more common than the planetary disk line rotation shown by the Virgo nebula 4594. »

En 1917 il a observé la rotation de six spirales : N.G.C. 224, 2683, 3623, 3627, 4594 et 5005. Il publie ensuite en 1918 une nouvelle mesure, celle de la rotation de N.G.C. 1068 (M77) qui, à 1' du centre, tourne à la vitesse de 300 km/s. En 1921[252], dans un résumé de sa communication au XXVe congrès de l'A.A.S., il ajoute deux autres études, celles de N.G.C 331 et 1068. Au total il n'a jamais cependant donné que trois mesures de vitesses : celles de Messier 31, N.G.C. 1068 (Messier 77) et N.G.C. 4594. Ce sont celles dont la luminosité surfacique est la plus élevée et dont les spectres sont probablement les plus faciles à obtenir.

Ces observations, dès qu'elles sont connues, sont vérifiées par Francis Pease, astronome au Mont Wilson qui s'intéresse également aux spirales. Slipher l'apprend en juillet 1916, par John Duncan[253] avec lequel il correspond et cela le conforte dans l'intérêt de cette découverte. Pease publie ses résultats en 1916[254]. Après 80 heures de pose il a obtenu un spectre de N.G.C. 4594 qui lui permet de calculer une vitesse de rotation de 330 km/s à 2 minutes d'arc du centre. À partir de 12 mesures, il détermine une relation linéaire entre la vitesse de rotation (Rot) et la distance au centre[255] :

$$Vrot = - 2,78\ r + 1180$$

Où Vrot est en km/s et r est la distance au centre en secondes d'arc.

Dans sa méthode de réduction des données il tient compte de l'inclinaison de la spirale qui n'est pas la même pour NGC 4594 et Messier 31.

Cette relation linéaire pose plusieurs questions. La nébuleuse ne peut être un corps solide en rotation car il serait infiniment instable à de telles vitesses. Pease penche pour l'existence d'une loi (inconnue) qui donnerait une courbe de vitesses linéaire. Pour la même raison cette courbe interdit la présence de planètes autour du centre de la nébuleuse car leur vitesse linéaire augmente lorsqu'elles sont plus proches du centre (comme les planètes du système solaire).

---

[252] (Slipher, 1921b)

[253] Lettre de J. ducan à Vesto Slipher. 14/7/1916. LOA.

[254] (Pease, 1916)

[255] La vitesse radiale au centre à 0 sec est de 1180 km/s

Un peu plus tard[256] Pease fait la même étude sur Messier 31 et donne une vitesse de 58 km/s à deux minutes du noyau et une relation toujours linéaire :

$$Y = - 0,48 x – 316$$ [257]

Où x= la distance angulaire au centre en secondes d'arc et Y la vitesse en km/s.

Slipher semble observer une evolution non linéaire[258] : « Angular velocity andromeda apparently decreases outward. Linear velocity one minute from nucleus estimated 50 miles[259]." Par ailleurs, la formule de Pease donnerait 30 km/s alors que Slipher trouve 80 km/s. L'imprécision des mesures de la vitesse de rotation peut probablement à elle seule expliquer les différences observées[260].

Il est important également de noter que toutes ces mesures, aussi bien celles de Pease que celles de Slipher, ne concernent que la partie centrale du seul noyau[261] et non les bras spiraux de la nébuleuse. Par exemple les mesures faites par Pease sur N.G.C. 4594 concernent « approximately the central half of the nebula » et pour Messier 31 elle atteint 2,5 minutes d'arc[262]. En 1928, Horace Babcok (1882-1968), avec la méthode spectrographique, publie une vitesse du même ordre que celles de Slipher et Pease pour la nébuleuse d'Andromède, avec une vitesse de 100 km/s à 2,5 minutes d'arc, au lieu de 70 km/s avec la formule de Pease. Dans l'ensemble, les mesures donnent toutes le même ordre de grandeur[263].

Ces mesures sont mises en relation avec la composante rotationnelle tirée par van Maanen de ses mouvements propres[264], en estimant que les spirales vues de face ont les

---

[256] (Pease, 1918)

[257] Au centre (x=0) la vitesse mesurée est la vitesse radiale. La vitesse de rotation s'additionne ou se retranche de cette vitesse radiale suivant le côté examiné.

[258] Lettre de Vesto M. Slipher à Percival Lowell non datée mais probablement de juillet 1915, date des travaux de Slipher sur le sujet. LOA.

[259] 80 km/s. Il faut note que le grand diamètre apparent de la nébuleuse est de plus de 3°. La mesure porte donc sur le seul noyau central.

[260] On sait aujourd'hui, grâce à la radioastronomie, que la vitesse augmente rapidement à partir du centre, de façon à peu près linéaire, pour rester ensuite en plateau ou en légère décroissance.

[261] A cette époque la nature du noyau est incertaine. Sa résolution en étoiles est due à Walter Baade en 1940.

[262] La partie centrale non résolue (le noyau) a une dimension estimée par Hubble de 10 par 30 minutes d'arc. On voit donc bien que les mesures ne concernent que la partie centrale de la nébuleuse (Hubble, 1929b).

[263] (Holmberg, 1939)

[264] Van Maanen compare des clichés faits à 10 à 15 ans d'intervalle et repère des points remarquables dont il compare le mouvement par rapport à des étoiles de référence. A partir de cette méthode il déduit une période de rotation de la nébuleuse (85 000 ans pour Messier 101). Voir annexe 3 paragraphe 4.

mêmes propriétés que celles qui sont plus inclinées. Pease en déduit une parallaxe: « Van Maanen finds for Messier 101 an annual rotational component of 0".022 for a distance of 5' from the center. Combining this with the rotational velocity of 330 km per sec. for a distance of 2' gives 0".00013 for the parallax of N.G.C. 4594." (qui correspond à 7 700 parsecs pour Messier 101[265]).

La réception de ces résultats par les autres astronomes est excellente. Un des plus reconnu des astronomes de ce temps, William Campbell écrit à Slipher en 1914[266]: « The rotation observed in N.G.C. 4594 is especially interesting and important… I hope you will be able to get additional observations of the same kind." Il utilise d'ailleurs souvent les données de Slipher, comme par exemple pour une conférence faite à l'Académie Nationale des Sciences[267]. Comme nous le verrons plus loin[268], Heber D. Curtis était aussi très favorable à ces résultats sur la rotation et écrit qu'il a toujours préféré le point de vue de Slipher à celui de van Maanen. Quant à Harlow Shapley (1885-1972), dans sa revue générale intitulée « *On the existence of external galaxies* » écrite en 1919[269] il ne fait aucunement mention des articles de Slipher ou de Pease. Toute sa discussion est basée sur la publication de van Maanen sur Messier 101. Ce n'est que dans son livre « *Galaxies* »[270] publié en 1944 que Shapley reconnaît très brièvement l'importance de « …spectrographic determined rotations… »

Une tentative d'utilisation de la vitesse de rotation pour en déduire la masse de la nébuleuse.

Une note de Slipher[271], un peu anecdotique, montre qu'il tente d'évaluer la masse de la nébuleuse de Virgo, NGC 4594, dans un volume contenu dans un diamètre angulaire de 1 minute d'arc. Cette masse est évaluée à partir de la masse du Soleil en se servant des paramètres de l'orbite de Jupiter. Pour cela il retient une distance pour la nébuleuse de 10 000 a.l. ce qui donne pour le diamètre angulaire un rayon de 2,9 a.l. Il s'agit de calculer la masse contenue dans ce volume de rayon 2,9 a.l. Sachant que la vitesse orbitale de ce point est

---

[265] (Pease, 1916)

[266] Lettre de William Campbell à vesto Slipher. 2 novembre 1914. LOA.

[267] Ibid.

[268] Paragraphe 6.3.1.

[269] (Shapley, 1919)

[270] (Shapley, 1944)

[271] Note classée dans les *Published Manuscripts*. Boite 2 1917-1919 #15. LOA.

mesurée à 200 miles/s et celui de Jupiter à 8,1 et que la distance de Jupiter au Soleil est de 1/12 000 a.l. il est possible de donner la masse de la nébuleuse en unités de la masse du Soleil. Ses calculs donnent :

Masse de la nébuleuse = 765 725 000 000 masses solaires.

Slipher essaie ensuite d'estimer la force de gravitation qu'exercerait cette masse, comparée à celle du Soleil sur la planète Neptune, compte-tenu des distances respectives et il conclut que la force exercée sur Neptune par la nébuleuse est d'environ 625 fois plus faible que celle qu'exerce le Soleil sur cette même planète. Il estime que cette force reste importante mais que rien ne permet aujourd'hui de considérer que de telles forces s'exercent et que par conséquent la masse de NGC doit être beaucoup plus faible car, dit-il, « altering the distances will not influence the final results. » Pour lui, tout ceci est en défaveur de l'hypothèse des univers-îles car si les nébuleuses étaient formées d'étoiles leurs masses devraient être au contraire plus importante.

Or nos calculs, avec les mêmes données, donnent des résultats différents[272] : la force exercée sur Neptune par NGC 4594, avec les données de Slipher, est de près de 13 000 fois moins importante que celle du Soleil et non 625 fois moindre comme Slipher le calcule.

En prenant les valeurs actuelles pour cette nébuleuse[273], la masse de NGC 4594 est considérablement plus grande mais sa distance encore plus et la force exercée sur Neptune par la nébuleuse est 47 000 fois moins importante que celle exercée par le Soleil, elle est donc tout aussi négligeable.

Si Slipher ne s'était pas trompé dans ses calculs alors sa conclusion aurait été différente, et cela, même en sous estimant la distance de la nébuleuse, qui ne sera connue que beaucoup plus tard.

On voit comment de petites erreurs de calcul peuvent entraver un raisonnement. Mais elles ne feront que le retarder car, la même année, avec tous les arguments tirés de ses observations, Slipher se rapproche de l'hypothèse des univers-îles.

---

[272] L'erreur de calcul de Slipher vient du fait que dans le rapport des focres exercée il ne prend en compte que les vitesses et oublie les distances !

[273] Source HyperLEDA.

Comparaison des deux types d'évaluation de la vitesse de rotation

La méthode employée par van Maanen permet en théorie de définir directement le sens et la vitesse (en secondes d'arc par année) du déplacement des points nébuleux qui constituent la spirale. Elle s'applique aux spirales vues de face ou peu inclinées[274]. Le mouvement observé est dirigé le long des bras. Van Maanen le décompose en une composante rotationnelle mesurée en secondes d'arc par an. Il ne mesure pas directement une vitesse. Cette composante peut être mesurée en fonction de la distance angulaire au centre. La vitesse tangentielle ne peut être calculée sans connaître la distance de la spirale qui est alors inconnue. Le mouvement propre est aussi décomposé par van Maanen en une composante dirigée dans le sens des bras et une autre qui lui est perpendiculaire. Ainsi van Maanen en déduit que les bras spiraux ont tendance à s'ouvrir, en raison de la présence d'une faible composante transversale.

Slipher et Pease ne mesurent qu'une vitesse de rotation tangentielle à la nébuleuse. La méthode ne s'applique qu'aux spirales vues de profil ou assez fortement inclinées. En mesurant des vitesses radiales sur plusieurs points de la spirale, Pease peut calculer une vitesse en fonction de la distance au centre. Tous les deux ne mesurent que les vitesses du noyau central de la nébuleuse.

Ces deux méthodes ne permettent de dériver d'autres données, comme les parallaxes, qu'en estimant que ces deux sortes de spirales différemment inclinées possèdent la même vitesse de rotation. Cela aboutit à des estimations très peu précises avec des intervalles très grands. Cela est dû, d'une part aux difficultés et à l'imprécision des mesures de rotation spectroscopique et d'autre part aux données de van Maanen qui sont erronées[275].

3.5.2. Le mouvement de rotation des bras spiraux.

Une fois mise en évidence la rotation des nébuleuses spirales par la méthode spectrographique, il reste à déterminer quel est le sens de rotation de ses bras. Pour cela il faut pouvoir orienter la nébuleuse par rapport à l'axe de vision de l'observateur.

---

[274] Par convention, une spirale dont le plan est perpendiculaire à l'axe de visée est dite « de face », son inclinaison est nulle. L'inclinaison est donnée en degrés de 0 à 90° pour une spirale vue « de profil ». L'inclinaison, de ce qui est une ellipse, est calculée à l'aide du rapport des axes.

[275] Comme le démontrera Hubble en 1935. Voir l'annexe 3, paragraphe 4.4.

Le raisonnement de Slipher.

Dans sa lettre à William Campbell du 4 décembre 1915 déjà signalée, Slipher lui soumet le problème de la détermination du bord le plus proche de l'observateur. En effet, la forme de la rotation de la spirale dépend du repérage de ce bord mais Campbell ne lui apporte pas de solution[276]. Ainsi qu'il le fait pour les résultats de toutes ses recherches, Slipher communique aussi le problème des rotations à John Miller (1859-1946) [277],[278] et il sollicite son opinion sur cette question: "If we knew which edge of the nebula is toward us then from the inclination of the lines we could say which way they are turning with reference to the curvature of the branches of the spiral. To get that by parallax measures seems now impossible." Cependant Slipher propose une hypothèse qui pourrait le sortir de cette situation: "We know for the great majority of the spindle-edge-on spirals there is a dark lane on their long diameter obviously due to absorbing or occulting material on the nearer edge of the nebula. Imagine we are looking at the great dark-lane spindle of Coma and while we are looking we are rising out of its plane. As we pass out of the shadow of the absorbing material the dark lane will loss intensity and prominence and the spiral branches begin to show themselves and the dark lane remain only as darker rifts between the arms of the spirals on one side of the nucleus. If we stopped when about 25° above the plane our view of this spindle it is imaginable that then this nebula might resemble the great Andromeda spiral which has much more intense rifts between the spiral arms on one than on the other side. In short I assume that edge of a spiral which has the darker rifts is the edge nearer us." En se basant sur cette hypothèse, Slipher en déduit la conclusion suivante: "On that assumption the Andromeda nebula is turning into the spiral arms i.e. in the direction we turn a spool to wind the thread on to it." Il explique à Miller que pour tester cette hypothèse, il est à la recherche de nouvelles nébuleuses ayant des caractéristiques appropriées. Mais les études sont longues et difficiles. Néanmoins, les trois ou quatre cas qu'il possède semblent concorder. La réponse de Miller [279]montre l'intérêt pour la découverte de Slipher mais il déclare n'avoir, comme Campbell, aucun avis sur la question de l'orientation.

---

[276] W.W. Campbell à V.M. Slipher. 11 décembre 1915. LOA.

[277] Rappelons que John Miller avait été son professeur d'astronomie à l'université et qu'il entretient avec lui une correspondance suivie.

[278] Lettre de Vesto M. Slipher à John Miller du 10/12/1915. LOA.

[279] Lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 20/12/1915 . LOA.

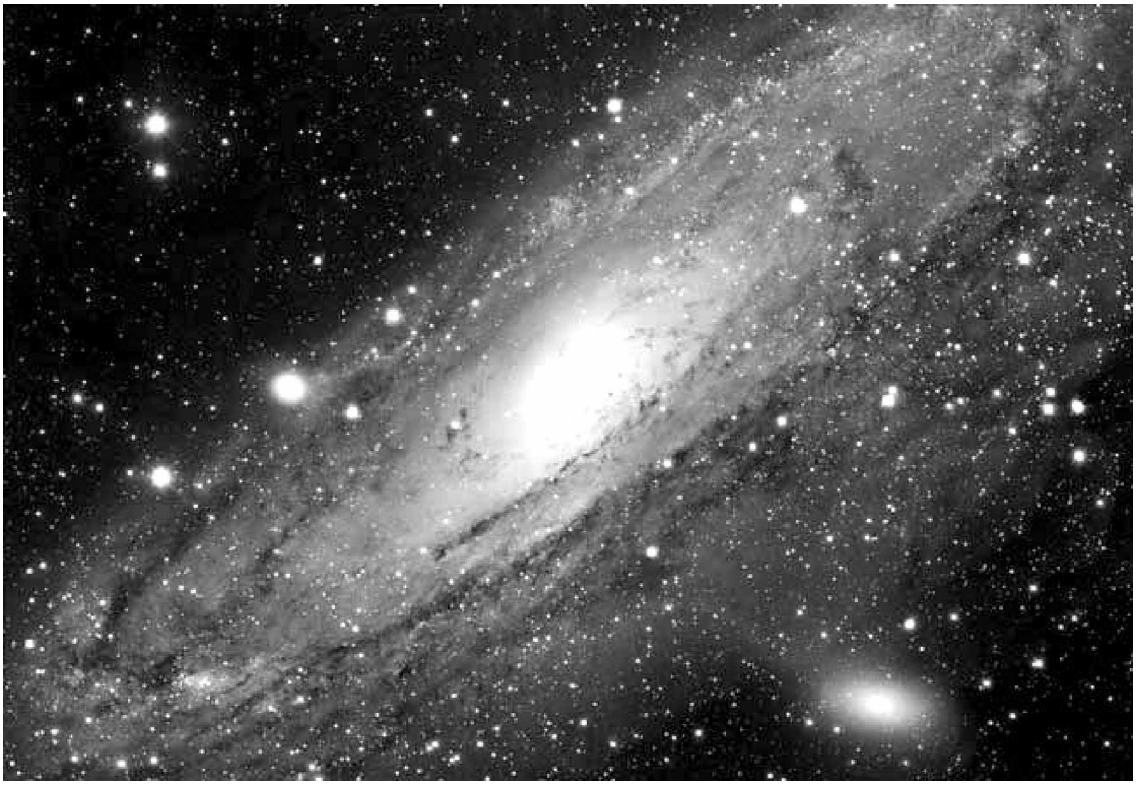


Figure 16 : Photographie de la grande nébuleuse d'Andromède avec les bandes sombres.

Au 25e congrès de l'AAS, à la fin du mois de décembre 1920, Slipher présente ses dernières hypothèses concernant la rotation des nébuleuses spirales. Il s'appuie sur ses mesures de rotation qu'il couple à un indicateur d'orientation de la spirale pour determiner le sens d'orientation du mouvement: "Considering then that side of the inclined spiral having the darker rifts and deficient illumination to be the one nearer us, we can interpret the direction of the rotation, shown by the spectrograph, relative to the curvature of the spiral arms where arms are recognizable. In every case the spectrographic results were got independently of any knowledge as to the nearer edge of the spiral and location of the spiral arms, and likewise these data as to orientation were determined quite independently of the rotation shown by the spectrograph.

The six nebulae discussed all agree in showing rotation in the same direction relative to the spiral arms. The direction is that in which the arbor of a spiral spring turns when the spring is being wound up."

Slipher dispose ainsi des observations et d'un raisonnement qui lui permettent d'orienter la spirale par rapport à la ligne de visée et ainsi d'en déduire un sens de rotation de l'objet dans son ensemble.

Une copie de son article de synthèse « *Nebulae* »[280] conservé à l'observatoire Lowell contient une note dactylographiée de Slipher. Elle nous apprend que, grâce à Walter Adams[281], il a pu examiner une excellente photographie de N.G.C. 4594, prise au Mont Wilson qui révèle de fins bras spiraux, ce qui lui permet, sur cette nébuleuse de valider son hypothèse de rotation : « With Professor Adams, I have examined an excellent Mont Wilson photograph of this nebula, which reveals faintly the spiral arms. The shape of the arms allows my spectrographic rotation of the nebula to be interpreted as to direction. It comes out that the object is rotating in the same sense relative to the curvature of the spiral arms as the above discussed spirals were found to be turning.

It thus is reasonably certain that we can generally decide (in the manner described above) from the appearance of spiral nebulae which edge of the nebula is the nearer us. Hence it follows that the unsymmetrical aspect of the two edges of a spiral is chiefly dependant upon the direction from which we view the nebula. And this, in turn, has its bearing upon the question of the physical nature and the illumination of the spirals in general."

De son point de vue sur la rotation il en déduit que la spirale est en expansion[282], c'est à dire que son diamètre augmente avec le temps. Il faut se souvenir qu'une des hypothèses à propos de la nature des spirales les considérait comme des systèmes solaires en formation, le noyau central étant une étoile naissante entourée d'un nuage de matière. Au contraire, ici, Slipher pense aux spirales comme à des objets qui sont au contraire en expansion (et non en voie de condensation) et il appelle d'ailleurs la première : une vieille hypothèse : « The high velocity of rotation argues that in some cases, at least, -as N.G.C. 4594, for instance- the nebula is in consequence of rotation expanding. Indeed the disk-form and the spiral arms of these nebulae imply action, past or present, of expansive forces. The evidence from these observations, and from other sources, to my mind, makes clear the need of our entertaining the view that systems exist which are undergoing expansion. The old theory of condensation of nebulae into stars is today insufficient because one-sided and hence should share the field with the view of the expansion of denser systems into more tenuous ones. In a universe so vast in space and time, its components must be variously circumstanced and it is hardly to be thought that the different forces with expansive tendencies will always be overpowered by those with condensing tendencies. "

Ainsi, pour lui, à la lumière de son travail, à côté des nébuleuses qui se contractent pour former des étoiles, il doit exister des nébuleuses, comme les spirales, qui sont, ou ont été, en expansion sous l'effet d'une force centrifuge non complètement contrebalancée par la gravitation. En réalité il ne s'explique pas bien les forces mises en jeu.

---

[280] Manuscrits. LOA. Il sera publié en 1917 (Slipher, 1917a).

[281] (Joy, 1956)

[282] C'était l'opinion de Slipher et de Campbell avant 1917. La spirales s'étend dans l'espace en écartant ses bras. Le terme d'expansion n'est pas celui utilisé pour définir l'évolution de l'univers.

En deux publications (1917 et 1921) Slipher a donc donné un ordre de grandeur de la vitesse de rotation des spirales et, en proposant une orientation de l'inclinaison du bord du petit axe, montré que pour toutes les spirales étudiées les bras tournaient comme « un ressort que l'on remonte » ou « une bobine sur laquelle on enroule un fil ».

En 1924, Heber Curtis[283] qui répond à Slipher à propos de la commission de l'*Union Astronomique Internationale*, lui fait part à cette occasion de son point de vue sur la rotation des spirales: « Your results are uniformely to the effect that the motion is the "direction of the arbor of a spiral spring when it is wound up". Similarly, Pease on the Andromeda nebula, states, "Whether the motion of the nebula is inward or outward along the arms of the spiral depends upon the inclination of the nebula." Referring to his diagram, we find, if we assume as you did in your work that if the "lane" side if the nebula is the nearer, his direction of motion is that found by you. Van Maanen's motions are prevailing outward along the arms of the spiral. Whereas,-if the "lane" side is the nearer to us, it seems to me that the spectrographic results directly contradict those secured by Van Maanen. Further, I can see no way in reason to put the "lane" side anywhere than on the side toward us. I have never been able to accept VM's results; my feeling is a mixed one of admiration for careful and honest measures on most difficult subjects, of "watchful waiting" for additional evidence on "being on the fence" and from Missouri, and some measure of total disbelief that the motion he found exist at all in the quantities he gives. One thing that bolster my attitude with regard to accepting his measures has been what seemed to me the absolute contradiction in the direction of motion given by the spectrographic results, which, per se, appear to me to be worthy of far more confidence."

Il confirme sa position en 1926[284], dans une correspondance avec Slipher. Dans ces lettres, Curtis considère que ce qui est contradictoire entre les observations de van Maanen d'une part et celles de Slipher et Pease d'autre part, c'est bien la direction du mouvement des bras spiraux. Il est à la rigueur possible, en effet, de s'accorder sur les valeurs des distances si l'on admet que les spirales sont à des distances de moins de 35 000 a.l. Mais par contre, les spirales semblent pour van Maanen se dérouler, tandis qu'elles paraissent s'enrouler pour Slipher. Curtis ne voit pas comment interpréter autrement qu'avec le raisonnement de Slipher, la position des bandes sombres et pour ces raisons il lui paraît nécessaire d'admettre la démonstration de Slipher. Nous devons nous rappeler que selon Edwin Hubble, les spirales sont (au moins certaines d'entre elles) beaucoup plus loin que 35 000 a.l., ce qui est totalement en opposition avec les hypothèses de van Maanen. Ceci, Curtis ne le commente

[283] Lettre de Heber Curtis à Vesto M. Slipher du 12/3/1924 . LOA.

[284] Lettre de Vesto M. Slipher à Heber Curtis du 10/6/1926. LOA

pas alors que la première mesure de Hubble a été présentée le 1er janvier 1925 au congrès de Washington de l'AAS.

Le point de vue opposé de Bertil Lindblad.

En 1938[285] paraît un article reprenant des travaux théoriques plus anciens publiés dans des revues de langue allemande et suédoise depuis 1926. Lindblad cite les conclusions de Slipher mais conteste ses résultats. Pour lui, les photographies de Messier 32, NGC 4594 et 2683 ne permettent pas de déterminer avec certitude le sens de rotation des bras spiraux et pour les trois autres, Messier 31, NGC 1068 et 3628 il n'est pas possible de déterminer quelle est la partie la plus proche. Pour Messier 31 il déclare que ses travaux personnels montrent que son inclinaison est à l'opposé de ce qu'écrit Slipher. En 1940 il développe ses hypothèses et ses observations, de façon détaillée dans l'*Astrophysical Journal*[286]. Il reprend la question des bandes qui obscurcissent certaines parties des bras des spirales. Il considère que la matière qui les obscurcit siège aussi bien dans leur partie convexe que concave. Il part d'une spirale vue de face, comme Messier 51 qui présente également des zones sombres dans la partie concave des bras. Lindblad considère que la matière est répartie de façon homogène dans les bras. Il estime que si l'observateur s'éloigne du plan de la spirale il verra les zones sombres les plus éloignées comme plus apparentes que celles qui sont proches. Il en conclut: « I have drawn the conclusion that the part of the nebula which shows heavy obscuration is in all probability the farther from us ». D'où il déduit logiquement: « the direction of rotation found by Slipher and by Pease will be the direction in which the spiral arms wind outward, in accordance with our theoretical rule." Dans un nouvel article de 1946 il confirme : « … the spiral arms open up in the direction of rotation… »

Ainsi, le point de vue de Lindblad concernant la rotation de ces nébuleuses spirales est à l'opposé de celui de Slipher. À la même période, Horace Babcock (1912-2003)[287], réétudiant la nébuleuse d'Andromède, confirme l'opinion de Slipher et Erik Holmberg (1908-2000) [288] prend également parti pour ces hypothèses. Edwin Hubble qui a commencé à s'intéresser à la rotation des nébuleuses ne peut se satisfaire de cette situation, et pour essayer de trancher, se lance dans une nouvelle étude.

---

[285] (Lindblad, 1938)

[286] (Lindblad, 1940)

[287] (Babcock, 1939)

[288] (Holmberg, 1939).

Le point de vue de Hubble

En juillet 1932, Hubble qui a été informé des travaux de Slipher sur ce sujet[289] , lui demande s'il les poursuit car il pense qu'il y a « (an) outstanding need in nebular research ». En réponse, Slipher lui communique les résultats qu'il avait obtenus[290]. En 1941, ils s'échangent des clichés spectrographiques[291] et discutent de la rotation et Hubble écrit: « Thank you for your letter on the rotation of spirals. I am sending you prints of 3190 and 4594[292] as you request, and will be very glad to send others if you wish them. The expression "trail their arms" is ambiguous as you point out. I was careful, in the brief paper for the Academy, to use the expression "the arms trail," for the analogy is with the pin-wheel and the direction is that which you stated in your 1917 paper". En 1935[293], Hubble publie une courte note sur le problème de la rotation où il signale la confusion entraînée par les travaux de van Maanen sur ce sujet et démontre que les mesures de ce dernier ne sont pas retrouvées ni par Hubble lui-même, ni par Nicholson et ni par Baade, tous deux astronomes au Mont Wilson.

Hubble, qui a pris connaissance des publications de Lindblad, prévoit de faire paraître, en réponse, un article sur la rotation des spirales. Au mois de juillet 1941[294], il demande à Slipher de critiquer l'article qu'il s'apprête à publier. En septembre Slipher lui adresse une longue réponse qui s'ajoute aux notes portées sur le manuscrit lui-même. L'article est envoyé à l'*Astrophysical Journal*, il paraît le 9 janvier 1943[295]. Dans cet article, Hubble fait une large part aux travaux de Slipher qu'il confronte à l'hypothèse alternative de Lindblad.

Après un rappel très clair des éléments du problème, il montre qu'il y a deux critères pour évaluer l'orientation des spirales. Lorsque la spirale est vue de profil une bande sombre passe devant le noyau central et son orientation n'est pas discutable : c'est le critère primaire. Dans les spirales moins inclinées, cette bande sombre s'écarte du noyau. Tant qu'elle se projette en avant de lui l'orientation n'est pas ambiguë mais pour une inclinaison encore moins grande il n'y a plus de certitude car la bande sombre ne se projette plus devant le noyau central de la nébuleuse. Hubble se tourne alors vers la recherche de critères secondaires qu'il emprunte à Slipher. Pour ce dernier, si l'observateur pouvait se déplacer par rapport au plan

---

[289] Lettre de Edwin Hubble à Vesto M. Slipher du 22 juillet 1932. LOA.

[290] Lettre de Vesto M. Slipher à Edwin Hubble du 4 août 1932. LOA

[291] Lettre de Edwin Hubble à Vesto M. Slipher du 11 juin 1941. LOA.

[292] M 104 : Sombrero.

[293] (Hubble, 1935)

[294] Lettre de Edwin Hubble à Vesto M. Slipher du 27 juillet 1941. LOA

[295] (Hubble, 1943)

de la spirale, il verrait la bande sombre s'éloigner et se dévier latéralement pour rendre la spirale asymétrique : le coté sans bande sombre est alors le plus proche (deficient side nearer). Hubble se livre alors à une analyse critique des spirales décrites par Slipher pour ne retenir qu'un seul cas indiscutable pour lui, celui de NGC 2683. Quel est le raisonnement de Hubble ? Soit une nébuleuse vue de profil avec une bande sombre bien visible barrant le noyau central, tandis que l'inclinaison diminue, la bande sombre se déplace hors du noyau avant que les bras spiraux n'émergent. Cependant, les bandes intérieures, si elles sont présentes, vont rester en arrière de la bande périphérique. C'est ce qu'il observe dans trois nébuleuses : NGC 4216, 4258 et 4527 qu'il compare à NGC 3190 où le critère primaire est présent. Hubble reprend alors le catalogue photographique du Mont Wilson qu'il complète avec les données de la littérature. Un premier tableau regroupe quinze spirales observées de façon satisfaisante : toutes satisfont aux critères ainsi définis. Dans tous les cas la rotation des bras est telle que Slipher l'a décrite. Il ajoute encore huit autres cas plus douteux qui montrent que toutes tournent également en « traînant leurs bras ». Il critique enfin le critère de Linblad qu'il trouve erroné et montre que la matière obscurcissante est répartie de façon asymétrique dans les nébuleuses vues de profil et non symétrique comme le suppose Lindblad. Mais Lindblad n'est pas convaincue comme il le dit dans son article de 1946[296] : Utilisant des méthodes photométriques et colorimétriques, alors peu connues pour les nébuleuses spirales, il concut : « The results indicate that the dissolution of a system into spiral structure proceeds in such a way that the arms open up in the direction of rotation. »

Les réactions de Vesto Slipher

Nos sources proviennent des archives de l'observatoire Lowell. Les documents sur ce thème sont regroupés dans les *Working papers* d'une part et dans un classeur contenant une série de notes sur la question des rotations des spirales. Nous avons également analysé les courriers échangés sur ce sujet entre Hubble et Slipher.

Slipher est un peu irrité par l'article publié par Hubble qui ne fait pas, selon lui, assez de place à ses travaux sur ce sujet. « Hubble has added nothing in the matter " écrit-il en effet[297]. Il est vrai que Hubble ne fait que reprendre les hypothèses de Slipher et les applique à une série plus importante de photographies de nébuleuses prises en outre avec des télescopes plus ouverts. Il conteste en outre le fait que, selon Hubble, NGC 3190 serait "the first non ambiguous

[296] (Lindblad and Bradhe, 1946)

[297] Folder 4.33. Working papers: Direction of spiral rotation 1943-1949. LOA.

spiral ». En réalité il pense qu'il y a beaucoup de spirales qui présentent des critères suffisants pour pouvoir les orienter dans l'espace. Il poursuit sa critique: « Hubble seems to call dark lane of slightly inclined spirals as a "new ? criterion" which means he did not understand/read the method here formulated 25 years ago…" En réalité, Hubble n'a utilisé le terme «nouveau» que pour ses critères dits secondaires qui sont plus détaillés dans son article que dans celui de Slipher. Et de plus Hubble cite largement ce que cette hypothèse doit aux travaux de Slipher.

Peu de temps après, en 1944, Slipher publie une note dans la revue *Science* où il insiste, un peu trop au goût de Hubble, sur l'antériorité de ses travaux.

Slipher précise son point de vue dans un texte non publié daté du 2 décembre 1946 qui montre son intention de publier un article de fond sur le sujet qui s'oppose sur plusieurs point à l'article de Hubble (nous les avons soulignés):

« Orientation of spiral spindles.

1. the spindle or disk shaped spirals which often possess dark lanes present several evident facts.

2. such nebulae are numerous

3. the dark lane is very often present

4. this feature is not accident but a permanent part of these objects and (are)the result of the material, forces and phenomena of these bodies

Ici Slipher précise que ces bandes sont faites de matière et que des phénomènes dynamiques devraient pouvoir les expliquer. Il poursuit:

The dark band (nearly) over the lenticular spiral we must not forget is most conspicuous on the periphery naturally.

5. It too is potentially all the way around the edge of the nebular disk.

It must obey the ordinary laws of projective geometry for example:

We are quite unable (and of course should be) to see this except on the nearer portion of the spindle.

Because even if the tip of the spindle should begin to raise the far edge where the peripheral band falls against the dark sky and must mainly be lost, and therefore the farther edge must be the more luminous for at the same time the peripheral band is occulting higher on the forward = near half of the spiral spindle. Obviously the peripheral band is therefore quite able to imbalance the light on the two halves of the major axis.

Slipher explique ici, à l'aide d'une expérience de pensée, ce qui se passerait si l'on pouvait observer une spirale vue de profil qui progressivement deviendrait de moins en moins inclinée : si le bord le plus éloigné s'élève, la partie sombre située de ce côté se projette sur le ciel sombre et ce qui reste visible de cette partie de la spirale est plus claire.

Il reprend ensuite l'argument de Lindblad qui pose l'existence de matière sombre sur la partie interne des bras :

Then too, geometry again, in another quite independent manner gives the same evidence:

The dark bands or lanes over the dull ½ inclined object are definitely projected inward for the dark lane is less curved than are their parent arms at their nearness to the major axis and nucleus.

These dark lanes along the peripheral bright arm are also longer than they possibly could be if they were projected outward by an inner arm, as inspection of M31, 3623 will make clear.

Les bandes sombres situées sur la périphérie des barres des spirales barrées sont plus longues que si elles étaient sur la partie interne et c'est ce qui est observé en particulier pour Messier 31.

6. It may be well to recall the fact that the dark band of lenticular spirals must be all around these flattened objects, even though we are of course unable to see them on the far side, but an observer, on the opposite side doubtless would see much there what we see from our side standing equally above the nebular plane.

Figure 17: NGC 3623 (Messier 65) : une galaxie spirale inclinée. On distingue nettement les bandes sombres sur les bras spiraux.

Deux lettres à Hubble, l'une datée 3 décembre 1946[298] et l'autre non datée, montrent en effet que Slipher souhaite développer son point de vue dans un article plus détaillé et notamment argumenter contre la proposition de Lindblad. Cet article ne sera jamais publié.

Malgré ces discussions, les relations entre les deux hommes restent excellentes comme en témoignent les courriers ultérieurs échangés entre les deux astronomes.

Cet épisode montre que malgré d'excellentes intuitions, des observations et des mesures de qualité et des d'hypothèses logiquement déduites de ces travaux, les idées de Slipher restent mal connues. Ceci illustre le grand problème de Slipher. Il était en effet réticent à publier et ses articles paraissaient rarement dans des revues de prestige. Il a beaucoup publié dans *Popular Astronomy* et dans le bulletin de l'observatoire Lowell. Au contraire Pease a publié ses travaux sur les rotations dans les *Proceedings of the National Academy of Science*, Hubble et Lindblad dans l'*Astrophysical Journal*. Autre exemple, l'article d'importance qu'il prévoyait d'écrire sur les rotations n'est jamais paru. Pour ces raisons, ses articles ont eu moins d'impact que ceux de ses collègues. Ceux qui basaient leurs recherches bibliographiques sur les grandes revues risquaient de méconnaître les travaux de Slipher car les présentations dans les congrès, si elles peuvent faire connaître une nouvelle découverte à un moment donné, sont insuffisantes à pérenniser cette connaissance.

Mais Slipher possède de grandes qualités humaines. Il est toujours courtois dans ses relations avec ses collègues, même s'il est en désaccord avec eux sur certains points. Il n'hésite jamais à divulguer les résultats de ses travaux et même à communiquer ses résultats, même non publiés, et même son matériel, comme ses plaques photographiques. C'est ce qu'il a fait en particulier avec Hubble. Nous verrons qu'il a aussi aidé Hubble, alors inconnu, dans son intégration à la commission des nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale.

Destinée des controverses

Après les études critiques des historiens sur les travaux de van Maanen, notre analyse de la littérature scientifique et des archives montre que la question de la dynamique des nébuleuses spirales incluait de nombreux protagonistes entre 1917 et 1939. La vivacité des controverses

[298] Lettre de Vesto M. Slipher à Edwin Hubble du 31/12/1946. LOA.

s'explique par les enjeux de ces observations sur l'évolution de la conception de l'Univers à cette époque. Il était impossible, faute de mesures de distances, d'imaginer les ordres de grandeur des objets comme la Galaxie et les nébuleuses spirales. En particulier, il paraissait difficile aux astronomes d'imaginer que des corps puissent être aussi gros que la Galaxie et donc très éloignés, tant que Hubble n'aura pas mesuré leurs distances de façon considérée comme fiable par la communauté des astronomes.

Nous avons décrit[299] la manière dont les travaux de van Maanen ont été invalidés. Ici nous examinons plutôt l'évolution globale de la question de la dynamique des nébuleuses spirales. On doit tout d'abord noter l'absence de controverse directe entre Slipher et Pease d'une part et van Maanen d'autre part. Aucune correspondance n'en fait état dans les archives de l'observatoire Lowell, ni aucune publication. Les travaux de van Maanen sont soutenues par Harlow Shapley, alors que ceux de Slipher et de Pease sont utilisés par Curtis dans la controverse qui l'oppose à Shapley[300] à la fois sur les dimensions de la Galaxie et la position des nébuleuses spirales. Les résultats de van Maanen sont tout simplement abandonnés, en particulier par Shapley son principal soutien, en raison de la mesure de distance des spirales par Hubble, incompatible avec les vitesses de rotation soutenues par van Maanen. Cette annonce est accueillie favorablement par James Jean, que les mesures de van Maanen avaient bouleversé car elles remettaient en question certaines lois fondamentales de la dynamique des corps en rotation. Jeans alla jusqu'à questionner la validité des lois de la gravitation à grande distance[301]. Dans ce processus rapide d'extinction de la controverse, deux phénomènes se conjuguent : un argument scientifique, la mesure de distance des spirales mais aussi l'abandon du principal soutien de van Maanen, Harlow Shapley.

L'étude des archives montre que dès 1917, Slipher avait élaboré une hypothèse complète sur la rotation des nébuleuses spirales, incluant vitesse de rotation et comportement des bras spiraux. Lorsqu'en 1932, Hubble s'intéresse à la question, il découvre les travaux de Slipher, les étudie et en conclut, à l'aide de ses propres observations, que Slipher a vu juste. Pour ce qui concerne le repérage des spirales dans l'espace, les conclusions de Slipher ne sont remises en question qu'en 1940 par Lindblad qui, comme van Maanen, mais sur des arguments différents, prétend que les spirales sont « leading », c'est à dire qu'elles semblent

---

[299] Annexe 3.4

[300] Dans ce qui est appelé « Le Grand Débat ». Voir l'annexe 3.6. et les discussions de (Crowe, 1994) et de (Berendzen et al., 1984)

[301] Voir l'annexe 1.7.

s'ouvrir en tournant « comme un ressort qui se détend ». Hubble défend l'hypothèse formulée par Slipher et ce dernier intervient dans une note de mise au point en 1946. L'article plus complet qu'il prévoyait d'écrire n'est malheureusement jamais paru. En 1950, Gérard de Vaucouleurs (1918-1995)[302] confirme également les positions de Slipher et Hubble par son étude de NGC 2146.

Une partie de l'évolution de la question viendra de Lindblad lui-même qui, poursuivant ses réflexions, précise en 1963 et 1964[303] qu'au centre de la galaxie, la matière tournerait plus vite que la spirale, alors que les parties externes « traîneraient ». À une certaine distance il pourrait y avoir une résonance de corotation (dite résonance de Lindblad) entre les étoiles et la spirale. Le maintien de cette figure serait dû à l'autogravitation des étoiles. On lui doit également la notion de zones d'instabilité interne et externe. Une seconde étape est franchie entre 1964 et 1970, par les travaux de Lin et Shu[304] qui mettent au point la théorie des ondes de densité. Sur le plan observationnel, c'est grâce à la radioastronomie, en particulier par l'étude de la raie 21 cm de l'hydrogène neutre, que les courbes de vitesses de nombreuses galaxies seront mesurées et la vitesse et le sens de rotation des spirales bien établis.

Aspect épistémologique : Qu'est ce qui fait qu'une nouvelle technique est adoptée ? Suscite-t-elle toujours l'engouement des spécialistes ?

On pourrait penser qu'une méthode nouvelle, comme la mesure de la vitesse de rotation par la méthode de Pease et de Slipher utilisant la spectrographie et l'effet Doppler-Fizeau, plus directe, aurait pris le pas sur celle des mouvements propres, ancienne et indirecte. L'étude historique de cette question montre qu'en réalité les résultats de la méthode nouvelle, la spectroscopie, n'ont pas supplanté ceux de la méthode ancienne. La solution de la controverse n'est pas venue des méthodes elles-mêmes. Ce qui a été déterminant c'est la confiance attribuée à certains résultats plutôt qu'à d'autres.

Nous sommes en face de trois méthodes basées sur des théories différentes :

---

[302] (De Vaucouleurs, 1950)

[303] (Lindblad, 1963), (Lindblad, 1964)

[304] Nombreuses publications entre 1964 et 1974 dont (Lin, 1970)

- La mesure des mouvements propres de van Maanen, obtenue grâce à l'observation de clichés pris à dix ou quinze ans d'intervalle (méthode classique de la mécanique céleste). Elle prédit une grande vitesse de rotation.

- La mesure des vitesses radiales et de rotation par la spectrographie et l'effet Doppler, d'apparition plus récente. La vitesse de rotation est beaucoup moins élevée que celle trouvée avec la méthode précédente.

- La mesure de distance par la méthode des étoiles Céphéides fondée sur des théories différentes des deux précédentes : la relation période-luminosité[305], appliquée en 1925 aux nébuleuses spirales.

.

Les deux premières donnent des résultats totalement opposés et les tests qui en sont déduits concernant la distance des nébuleuses aboutissent à des ordres de grandeur totalement contradictoires. La troisième produit des résultats d'une autre nature, puisqu'il s'agit directement de la mesure de distance, mais ils sont incompatibles avec les résultats de la première méthode alors qu'ils sont compatibles avec ceux de la seconde. Dans ce cas, l'indépendance théorique des deux méthodes peut renforcer la confiance dans leurs résultats. C'est ce que Ian Hacking[306] montre à propos du microscope : des résultats convergents basés sur des champs théoriques différents aident à l'attribution d'une confiance dans un phénomène étudié.

Mais qu'est-ce qui donnait du crédit aux résultats de la méthode ancienne ?

D'abord la méthode était employée avec succès pour l'étude des mouvements propres des étoiles. De plus, plusieurs observateurs différents l'avaient utilisée sans qu'apparaissent des discordances majeures. Sa grande précision, qui se rapprochait de celle obtenue dans le système solaire lui conférait un crédit supplémentaire. L'obtention des documents nécessaires aux mesures était assez facile avec les moyens techniques dont disposaient déjà beaucoup d'observatoires. De ce fait de nombreuses mesures pouvaient être réalisées.

Il s'ajoutait à ces critères de scientificité des facteurs sociaux :

> Le prestige de l'observatoire où ces mesures étaient réalisées, le Mont Wilson,
>
> Les publications dans une grande revue, l'*Astrophysical Journal*

[305] Mise au point par Hubble pour les nébuleuses spirales ; (voir l'annexe 3.5).

[306] (Hacking, 1997)

Et la caution donnée par un astronome déjà réputé Harlow Shapley.

Quant à la méthode nouvelle, elle était moins utilisée et son application dans le domaine des nébuleuses spirales totalement innovante. Elle pouvait cependant se targuer de succès dans le domaine planétaire et dans la mesure des vitesses radiales des étoiles. Néanmoins l'acquisition des données était beaucoup plus difficile. Les nébuleuses étant des objets peu lumineux, il fallait des temps de pose très longs et leur étude était limitée à la partie la plus lumineuse, c'est à dire leur noyau central. Pour ces raisons le nombre d'objets mesurés était faible et ce travail était loin d'être à la portée de tous les astronomes. D'ailleurs Reynolds avait discuté la possibilité même de réaliser des mesures spectrographiques sur de tels objets. Les astronomes qui défendaient cette méthode, comme Curtis, se consacraient moins intensément que Shapley à l'étude des nébuleuses. On peut même ajouter que pour Slipher, le fait d'avoir un directeur fortement contesté, comme le fût Lowell, pouvait lui être défavorable. Quant à Pease il avait encore peu publié et de plus, il quitte le Mont Wilson pour un observatoire moins réputé et abandonne les études sur les nébuleuses. Enfin, alors que van Maanen publie chaque année un nouveau résultat dans l'*Astrophysical Journal*, Slipher ne publie que très peu d'articles et aucun dans une grande revue.

Il est intéressant de noter que les astronomes eux-mêmes ne remettaient pas en question les résultats de leurs « adversaires ». En effet Slipher, comme van Maanen, combinaient leurs résultats pour en déduire, par exemple des estimations sur la parallaxe et donc la distance de ces objets. Par contre, d'autres, comme Jeans, Curtis ou Shapley faisaient un choix entre ces mesures discordantes pour conforter leurs propres visions personnelles de l'Univers.

4. Slipher, président de la commission des nébuleuses, n°28, de l'UAI.

En novembre 1918, à Paris, il est décidé de créer une *Union Astronomique Internationale*[307] à partir du *Comité de la Carte du Ciel* et de l'*Union Internationale pour la coopération en recherche solaire* et d'autres corps constitués comme le *Bureau International de l'heure*. Des

[307] Les documents complets sont reproduits dans l'annexe 5.

comités nationaux seront formés par les académies des sciences et différentes sociétés nationales. George E. Hale, en tant que membre de l'Académie des sciences réunit la section américaine le 8 mars 1919 à Washington. Aucune commission sur les nébuleuses n'est proposée à cette date. L'*Union Astronomique Internationale* (UAI) naît officiellement lors de l'assemblée constitutive de l'*International Research Council* (IRC) qui se tient du 18 au 28 juillet 1919 à Bruxelles. Cette constitution prévoit la formation de comités nationaux qui ensuite nommeront des délégués à la réunion de l'UAI. Elle dépose ses statuts en juillet 1919 à Bruxelles. Parmi les commissions créées, figure celle qui s'intéressera aux nébuleuse, la commission 28. La désignation des membres s'est faite provisoirement par les trente délégués présents, confirmée par le Comité exécutif. Son président, désigné le 28 juillet 1918 sera le Français Guillaume Bigourdan (1851-1932). Slipher membre du comité américain aura en charge d'organiser la participation américaine au second congrès international qui se tiendra du 2 au 10 mai 1922 à Rome.

Le président de l'UAI est l'astronome parisien Benjamin Baillaud (1848-1934) et WW. Campbell est l'un des vice-présidents avec F. Dyson (1868-1939) de l'observatoire de Greenwich , G. Lecointe (1869-1929) de Uccle en Belgique, A. Ricco (1844-1919) (Catania, Italie), remplacé à son décès par A. Abetti (1846-1928). Le secrétaire général est A. Fowler (1868-1940) de Londres.

La commission n°28[308] est nommée d'abord « Commission des Nébuleuses ». Son président, Guillaume Bigourdan signe le premier rapport. La commission est formée de H. Deslandres, J.L.E. Dreyer, Ch. Fabry, V.G. Hagen (1847-1930), H. Knox-Shaw (1885-1970), H.F. Newall (1857-1944), J.H. Reynolds, V.M. Slipher et W.H. Wright. La troisième réunion de l'UAI se tient en 1925 à Cambridge (RU) sous la présidence de Campbell. La commission 28 se nomme maintenant « Commission des nébuleuses et des amas stellaires ». Le président est Vesto Slipher. Les nouveaux membres sont Madame D. Klumpke-Roberts (1861-1942)[309], S. Bailey, H..D. Curtis, G. Horn d'Arturo (1879-1967) et E. Hubble. En 1928 la réunion se tient à Leiden du 5 au 13 juillet. Le président Slipher est absent et c'est E. Hubble qui occupe cette fonction. Au congrès de Cambridge (USA) de 1932, Hubble est maintenant le président de la commission mais Slipher en reste membre.

[308] Les comptes-rendus officiels de la commission 28 sont intégralement rapportés dans l'annexe 5.

[309] Epouse de Isaac Roberts qui avait beaucoup participé aux travaux de son mari.

4.1 Les travaux de la commission de la section américaine.

Les premiers échanges de lettres dont nous disposons datent de février 1922 soit trois mois environ avant la réunion. Slipher a en effet reçu une lettre de Bigourdan[310] lui demandant de préparer la réunion de Rome et le secrétaire général de la section américaine, J. Stebbins, lui demande un rapport pour le mois de mars. Slipher[311] adresse alors aux membres de la commission américaine un courrier qui fait état de son point de vue et demande des commentaires. Un échange de courriers à lieu entre Barnard, Wright, Hubble et Slipher. G. Hale, directeur de l'observatoire du Mont Wilson a demandé à Hubble de rédiger un rapport établissant un programme de travail sur le sujet des nébuleuses ; ce dernier en communique une version réduite à Slipher[312]. Lundmark, alors au Mont Wilson a connaissance de la lettre de Slipher par Wright. Il envoie à ce dernier un long rapport de neuf pages. Quel bilan peut-on tirer de ces correspondances ?

Les propositions de Slipher, au nombre de huit, listent à la fois les champs de recherche et les moyens à mettre en oeuvre. Certaines de ces études ne nécessitent que des télescopes de diamètres modestes (photométrie, distribution dans le ciel, études des spectres). D'autres ne pourront voir le jour qu'avec des instruments plus ouverts comme les études sur la rotation et les vitesses radiales. Ce courrier montre, que dans l'esprit de Slipher, l'étude des nébuleuses doit devenir plus numérique, permettant une approche statistique de ces objets. L'immensité du travail à accomplir et la variété des sujets à aborder justifient une collaboration internationale.

Le rapport de Hubble, envoyé quelques jours plus tard, poursuit les propositions de Slipher sous une autre forme. De sa main, Slipher a annoté le document en replaçant les propositions de Hubble dans chacune des catégories de recherches qu'il a lui-même constituées. Hubble confirme que certains travaux pourront se faire avec des instruments relativement modestes. Il suggère précisément les tâches à attribuer à chaque observatoire et même à chaque astronome. Pour lui il n'y a plus de place pour les observations visuelles, tout

---

[310] Archives Classeurs A, D, E, G. LOA. Documents concernant la présidence de la commission 28 de l'Union Astronomique Internationale. Lettre circulaire de G. Bigourdan aux membres de la commisssion des nébuleuses.

[311] Archives commission 28: I 20 . LOA.

[312] Rapport de E. Hubble à Vesto Slipher du 23 février 1922. LOA (document Commission n° $A10_A$)

doit être réalisé par photographie. Il cite comme exemple le travail de Bigourdan : « Bigourdan's five volume, for instance, do not add materially to our knowledge of nebulae. »

Le rapport de Lundmark est daté du 24 février. Ce dernier travaille alors à l'observatoire Lick. S'il confirme la nécessités des recherches proposées par Slipher, il insiste sur les travaux réalisés par lui et par les astronomes d'Uppsala. En particulier son catalogue photographique des nébuleuses contient 750 objets et Lundmark songe à une nouvelle classification qui, a cette date ne semble pas avoir commencé. Plus conservateur que Hubble, il propose une place pour les observations visuelles en particulier pour le calcul des magnitudes.

Il apparaît donc que les astronomes qui travaillent déjà sur les nébuleuses, en particulier spirales, sont d'accord sur les sujets de recherche et largement aussi sur les moyens à mettre en œuvre. Sans doute voit-on poindre la formation d'une nouvelle spécialité parmi les différents domaines de l'astronomie : celle de l'astrophysique extragalactique. À travers les deux fortes personnalités que sont celles de Hubble et de Lundmark on assiste à l'apparition d'une certaine rivalité que Hubble transformera en polémique à partir de la classification des nébuleuses.

Le rapport de Slipher est adressé au secrétaire de la section américaine de l'UAI, Joel Stebbins, mais on ne sait pas s'il a été communiqué à Bigourdan. On a peine à le croire en lisant le rapport de ce dernier qui ignore les développements les plus récents intervenus dans le domaine des nébuleuses.

4.2. Les débuts et la présidence de Bigourdan

Le rapport de Bigourdan [313] est intéressant à analyser car il montre l'état des connaissances utilisées par Bigourdan[314]. Dans sa première partie historique qui va de Messier à la période actuelle, il n'y a aucune mention des travaux de Slipher, de Fath, de Wright et même de van Maanen. La photographie est à peine évoquée. Une des propositions, celle de Hagen est de rechercher les dessins de Tempel. Les questions des vitesses radiales, des rotations ne sont pas abordées. Une grande partie est consacrée à une refonte des descriptions abrégées des

[313] (Bigourdan, 1922) . Le texte du rapport est intégralement transcrit dans l'annexe 5.

[314] Nous aborderons plus loin le problème posé par l'astronomie française quant à la question des nébuleuse.

nébuleuses et sa proposition de catalogue reste très proche des classifications de Herschel, reprises par Dreyer dans le N.G.C. Le rapport final[315] indique « Bien que d'accords sur le besoin d'un nouveau catalogue des nébuleuses, d'autres membres (que Bigourdan) de la commission n'étaient pas d'accord avec M. Bigourdan sur quelques détails de la compilation qui ont été suggérés. » Les résolutions finalement adoptées sont les suivantes :

« 1- Qu'un nouveau Catalogue Général des Nébuleuses est nécessaire, basé autant que possible sur les observations photographiques plutôt que visuelles.

2- Que les détails de la compilation soient présentés pour discussion à la prochaine réunion de l'Union, détails que le président aura fait circuler.

3- Que les amas soient inclus avec les nébuleuses dans les travaux du Comité mais apparaissent dans une rubrique séparée dans le catalogue.

4- Que les coordonnées galactiques soient données dans tous les cas. »

Cette présidence ne sera pas très productive aux dires de certains de ses membres. C'est l'avis de Knox-Shaw , qui écrit après le congrès de Rome : « So far the Committee on Nebulae has not justified its existence by doing anything."[316] C'est aussi celui de Reynolds : « the nebular commission at its Rome meeting was not a success scientifically, mainly because only a few members had really first-hand knowledge of the subject, and M. Bigourdan was evidently dwelling still in the age of visual observations, with no knowledge of recent photographic work. As an example of this, he raised the question of a General Catalogue which should discriminate between resolvable and irresolvable nebulae – a distinction out of date by at least 25 years."[317]

Le rapport ci-dessus, ces courriers et le rapport de Slipher, montrent que le président Bigourdan n'a pas transcrit tout à fait fidèlement les positions des membres présents. Il est vrai aussi que dans cette commission manquaient trois astronomes particulièrement qualifiés en matière de nébuleuses : Curtis, Hubble et Shapley, bien que, à cette époque, Hubble était méconnu de la communauté astronomique non américaine.

À l'issu de la réunion, Bigourdan se retire et la présidence est confiée officiellement par le Comité exécutif à Vesto Slipher.

---

[315] Ibid p 173.

[316] Lettre de Knox-Shaw à Vesto Slipher du 8 août 1922. LOA.

[317] Lettre de John Reynolds à Vesto Slipher du 15 avril 1924. LOA

4.3. La présidence de Slipher et la préparation du congrès de Cambridge (1922-1925).

Le but de Slipher est maintenant de préparer la prochaine réunion qui se tiendra à Cambridge (Royaume Uni) en 1925. Il approuve les recommandations de Barnard et de Wright qui suggèrent de laisser beaucoup de liberté aux chercheurs et de ne pas considérer les avis de la commission comme trop contraignants. Pour lui, la mission de la commission est d'expertiser et de discuter les recherches sur les nébuleuses et les amas stellaires, et d'offrir, si possible, des propositions pour de futures études.

Le rapport préliminaire, conservé dans les archives de l'observatoire Lowell mérite un commentaire car, dans une première partie, il résume l'état des connaissances sur les nébuleuses. Du fait de leurs très grandes vitesses radiales, les nébuleuses spirales étendent les limites de notre Univers connu. La mesure par Hubble de la distance de la Nébuleuse d'Andromède à un million d'années-lumière le confirme d'ailleurs et, fait remarquer Slipher, c'est la plus proche des spirales. Au contraire les nébuleuses planétaires et les amas globulaires semblent confinés dans un volume plus réduit, celui de la Galaxie. Nous connaissons également les points de vue de K. Lundmark[318] et ceux de Hubble grâce à leurs rapports adressés à Slipher le même mois de février 1922.

4.3.1. Le rôle important de E. Hubble.

Il faut noter l'investissement particulier de Hubble dans les travaux de la commission. Vingt lettres sont échangées entre les deux astronomes entre le 15 février 1922 et le 22 mai 1925. Cette correspondance se prolongera jusqu'au décès de Hubble en 1959[319]. Parmi les propositions de Hubble : publication périodique d'une revue bibliographique sur les nébuleuses, *survey* photographique des nébuleuses et classification de ces dernières, celle qui lui tient le plus à cœur est la dernière. Néanmoins les courriers indiquent qu'il défend vigoureusement le projet de bibliographie[320], contre Dreyer qui estime que ce que fait

[318] Archives UAI: A3. LOA.

[319] Voir le paragraphe 6.1.3.

[320] Lettre de Edwin Hubble à Vesto M. Slipher du 23/10/1923. LOA.

Bigourdan dans la presse française est suffisant[321]. La dernière publication d'une telle revue est celle de l'Allemand Holden qui s'est arrêtée en 1877. La revue devrait d'abord reprendre la littérature depuis 1877 puis être régulièrement tenue à jour. Il suggère de se servir comme consigne de la bibliographie que compile Curtis, qui cependant ne rédige pas de résumé des articles. Il propose d'y associer Reynolds ou Knox-Shaw pour la littérature anglaise, il veut bien se charger de la littérature américaine et propose Lundmark pour la littérature européenne non anglophone. Fabry, pour la partie française serait le seul compétent mais il n'est pas intéressé et la situation internationale n'est pas favorable à la coopération avec l'Allemand Wolf. Il propose enfin que Dreyer compile une revue historique depuis Herschel.

Hubble lie également le projet de catalogue photographique à une classification plus précise des différents objets. Pour lui, il faut sortir de la logique énumérative des précédents catalogues pour inclure dans ce projet les caractéristiques physiques actuellement mesurées et une classification, et bien sûr Hubble soutient la sienne[322]. En retour Slipher l'informe régulièrement des propositions qu'il va soumettre à la Commission. Il approuve les propositions de Hubble concernant la bibliographie et propose des sous-commissions sur les sujets importants que Hubble met en avant. Slipher reprend donc la plupart de ses propositions et les inclut dans son rapport final. Néanmoins, Slipher reste réservé quant à la classification de Hubble, en particulier sur le caractère évolutif qu'il donne aux différentes formes de spirales[323]. Il pense qu'il est prématuré, faute de données spectrales suffisantes, de les classer comme cela a été fait pour les étoiles par le groupe de Pickering[324]. Néanmoins son rapport préliminaire présentera, sans prendre partie, la classification de Hubble, mais les membres de la commission montreront les mêmes réserves que Slipher[325].

---

[321] Lettre de Edwin Hubble à Vesto M. Slipher du 14/7/1924. LOA. Bigourdan tient une rubrique d'analyse (non exhaustive) de travaux d'astronomie dans le Bulletin Astronomique.

[322] Voir annexe 4.

[323] Ce sont les termes "early" et "late". Hubble s'en expliquera en détail dans son article de 1926 (Hubble, 1926). Il précise en effet page 382 que les bases de sa classification sont purement descriptives et indépendantes de toute théorie (en particulier celle de Jeans). Il le précise encore dans la note de la page 284. Reynolds l'a bien compris qui dans sa critique de 1927 n'aborde pas ce sujet (Reynolds, 1927)

[324] Lettre à Heber Curtis du 10/6/1924. LOA.

[325] Sur cette question des classifications et catalogues voir l'annexe 4.

4.3.2. Les propositions que Slipher soumet à la Commission.

La seconde partie du rapport de Slipher contient les propositions issues des membres de la commission sur les études à réaliser au sujet des nébuleuses :

« Le problème général des nébuleuses est la détermination de leur nature physique et de la place qu'elles occupent dans la structure et l'évolution de cette portion de l'univers qui est dans le champ des recherches astronomiques. Les questions, dans le détail, doivent traiter des différents sujets :

État physique de la nébulosité

Mécanisme de la luminosité

Dynamique des formes nébulaires

Relation entre nébuleuses et étoiles

Origine et évolution des nébuleuses (Hubble).

Nous devons étudier :

L'apparence générale (Lundmark, 1938), la structure, les dimensions, la texture, la masse, la densité, la température, la luminosité des nébuleuses et leurs pouvoirs de réflexion, d'absorption et de diffusion de la lumière.

Leur distribution, groupement et relations avec les étoiles et les autres nébuleuses.

La nature et l'origine de la luminosité des nébuleuses de différents types (gazeuse, « blanche », par réflexion et « sombre »)

Leurs constitutions chimiques.

Les modifications (observables) dans les nébuleuses et leur classification physique dans le but de (connaître) l'évolution et l'origine des nébuleuses.

Etc. »

Cette présentation apporte plusieurs informations :

D'abord que les connaissances sur ces nébuleuses sont encore très parcellaires mais que les questions posées commencent à être plus claires : on est loin des spéculations de Guillaume Bigourdan, basées seulement sur une position dans le ciel et une description morphologique approximative.

Ensuite que les travaux à réaliser sont suffisamment nombreux et ambitieux pour que se constitue une sous-spécialité au sein de l'astrophysique, celles des nébuleuses. Deux groupes de travaux sont proposés avec dans le premier groupes cinq propositions qui concernent plus les théoriciens alors que ceux du second intéressent plus les observateurs.

Enfin, il est important de rappeler que c'est peu avant le congrès de Cambridge que Hubble découvre des Céphéides dans plusieurs spirales. Il en fait part à Slipher dès le 20 décembre 1924 en même temps qu'il lui annonce son absence au congrès de l'*American Astronomical Society* qui se tiendra à la fin de l'année à Washington. Slipher cite ces résultats dans son rapport : « Recently Hubble's splendid work on Cepheid variables in the Great Andromeda Spiral determines the distance of this nebula (which cannot doubt is one of the very closest spirals) to be one million light years. » Cette découverte aura une influence, encore modeste, sur les réunions de la Commission, bien que la plupart des astronomes, en particulier américains, connaissent bien, grâce aux travaux de Shapley sur les amas globulaires, les possibilités de mesures de distance qu'apportent ces Céphéides. Il n'est par contre pas certain que les membres européens, les plus nombreux, soient au courant de cette découverte et ses conséquences. En effet, elle n'a encore fait l'objet que d'une brève communication orale dans un congrès américain. Cependant la notoriété de Hubble sera fortement renforcée par Slipher.

À partir de ses propres réflexions et des avis recueillis, Slipher établit quinze propositions détaillées[326] qu'il synthétisera dans son rapport final en cinq propositions :

1- Étude systématique du ciel au moyen de photographies (*photographic sky survey*).

2- Réalisation d'un nouveau catalogue des nébuleuses faisant suite à celui de Dreyer, le N.G.C.

3- Classification des nébuleuses

4- Suivi bibliographique sur le sujet des nébuleuses

5- Nomenclature plus uniforme.

Le rapport présenté par Slipher à l'Assemblée Générale est très détaillé[327]. Enrichi par rapport au manuscrit initial, il témoigne des qualités de Slipher qui a su rassembler et synthétiser les opinions et les travaux de chacun. Le rapport comprend deux parties distinctes. La première résume en une page l'état des connaissances du moment sur les nébuleuses et les amas stellaires et indique le sens des travaux en cours. Dans la seconde partie il propose que l'UAI soutienne cinq propositions de travaux :

A- Une étude systématique du ciel avec trois projets :

a. L'étude systématique proprement dite, avec un télescope de 24 pouces comme le «*Bruce telescope*» de Harvard

[326] Archives UAI: K1. LOA.
[327] (Slipher, 1925)

b. Une photographie des nébuleuses et des amas les plus brillants avec des télescopes plus petits
c. La photographie d'objets sélectionnés, avec de gros télescopes

Une coopération internationale est souhaitée pour ces projets, auxquels participent déjà non seulement les grands observatoires américains mais aussi celui de Helwan (Égypte) et Cordoba (Argentine) mais aucun observatoire français.

B- Nouveau catalogue des nébuleuses basé sur la photographie et des observations précises.

C- Une classification des nébuleuses. À ce sujet, si Slipher soutient les propositions de Hubble, il indique dans son rapport l'existence de divergences. L'utilisation des termes « précoce » et « tardive » appliqués aux nébuleuses ne doit pas être encouragée[328].

D- La bibliographie proposée par Hubble sera mise en route par une sous commission avec Reynolds et un autre membre à désigner.

E- En attendant la commission suggère à chacun d'utiliser une nomenclature plus uniforme des nébuleuses et des amas et de se servir pour l'instant la classification N.G.C. »

À ce rapport est annexé celui de Hubble intitulé « Memorandum on a general photographic survey of more conspicuous nebulae with large telescopes. »

Après des discussions avec les membres de la commission ainsi que de membres extérieurs il est décidé que la motion suivante sera proposée à l'Assemblée Générale : "Que le moment n'est pas encore propice pour la compilation d'un nouveau catalogue général de nébuleuses, mais qu'un nouveau catalogue des astres les plus brillants et les plus étendus devrait être publié, illustré de planches. Ce catalogue serait basé sur une exploration systématique des nébuleuses et amas, les détails de celle-ci étant laissés à une sous-commission.

Que le système de classification adopté pour le nouveau catalogue photographique soit aussi purement descriptif que possible et débarrassé de tous termes pouvant suggérer une nature des objets plus précise que ne peuvent le garantir nos connaissances actuelles.

Il est recommandé que dans toutes les publications, les nébuleuses soient désignées uniformément par leur numéro du *N.G.C.* ou de l' *Index Catalogue* de Dreyer.

[328] Ces termes sont encore souvent utilisés.

Que, si cela devient possible, la Commission approuve le plus chaleureusement la réédification du télescope de 20 pouces d'Isaac Roberts pour la reprise de quelques-unes unes de ces photographies[329]."

Ces propositions sont adoptées et publiées en français [330]. Ainsi la proposition la plus chère à Hubble, celle de l'établissement d'une classification « moderne » est repoussée par les autres membres de la Commission. Il obtient simplement que soit différenciées les nébuleuses galactiques et non galactiques. Mais en 1926, encouragé par G. Hale, il publie sa classification dans l'*Astrophysical Journal*[331].

4.3.3. Les suites données et la préparation du congrès de Leyde (1928).

Plusieurs tâches attendent Slipher, renouvelé dans son mandat de président. Il constitue d'abord une première sous-commission destinée à constituer une bibliographie complète et à jour sur les nébuleuses. Ce travail est confié à Hubble cependant peu enthousiaste[332]. Une seconde sous-commission[333] est créée : celle sur le *survey* des nébuleuses brillantes. Elle comprend H. Shapley, Reynolds, Slipher, Lampland et Hubble. En réalité Hubble est beaucoup plus intéressé par son projet de classification des nébuleuses qu'il veut faire adopter par l'UAI.

Au congrès de Leyde, en 1928, Slipher est absent et c'est Hubble qui fait fonction de président. Slipher [334]suggérait quatre recommandations :

"Que le Président ou son représentant invite les observateurs équipés des instruments appropriés à participer à l'exploration et se répartissent les zones par accord mutuel.

Qu'une tentative soit faite pour inclure systématiquement les nébuleuses jusqu'à la magnitude 14 (estimées au nombre d'environ 2000), et que les plus faibles soient étudiées par échantillonnage.

Que les observations à l'intérieur d'une zone soient aussi homogènes que possible, et que des précautions soient prises pour faire des comparaisons entre zones.

---

[329] Cette recommandation fait suite à une demande de la veuve de Isaac Roberts qui réitérera ses propositions dans une lettre à Vesto Slipher peu après la réunion de Cambridge. LOA.

[330] Ibid p 240.

[331] (Hubble, 1926)

[332] Lettre de Edwin Hubble à Vesto Slipher du 23 octobre 1923. LOA.

[333] Lettre de Edwin Hubble à Vesto M. Slipher du 22/6/1926. LOA.

[334] Ibid. p 250.

Que les différents observateurs utilisent d'abord leurs propres données, selon leurs propres méthodes, mais qu'ensuite ils les envoient avec des échantillons ou des copies de leurs plaques à un bureau central (un sous-comité à faire avaliser par le président) pour la coordination et l'établissement d'un catalogue."

Le rapport publié dans les actes[335] signale que durant le Congrès la commission s'est réuni deux fois et que le rapport du Président Slipher a été adopté avec une seule petite modification proposée par Hubble qui exprime l'opinion que la question d'un nouveau catalogue soit repoussée jusqu'à ce que plus de progrès aient été réalisés dans l'exploration des nébuleuses

Hubble , probablement contraint et forcé par les autres membres de la Commission, déclare en effet qu'il est préférable d'attendre les premiers résultats pour définir une classification mais fait adopter en séance la résolution suivante : « La Commission reconnaît la distinction fondamentale entre les nébuleuses Galactiques et Extra-Galactiques et la distinction ultérieure des nébuleuses Galactiques en Diffuses et Planétaires. Parmi les nébuleuses Extra-Galactiques les plus brillantes, il est reconnu la distinction entre formes spirales et non spirales, mais la classification détaillée est toujours soumise à discussion et doit être repoussée pour l'instant ». La commission adopte une motion indiquant que les travaux déjà réalisés puissent être inclus dans le projet présenté par le président et adopté. Ce rapport n'est pas discuté par l'Assemblée Générale du 13 juillet 1928 sans que l'on sache pourquoi.

4.3.4. La présidence de Hubble.

À la fin du congrès, Hubble devient président et la commission s'élargit[336]. Elle est formée dorénavant de Mlle *A. Ames (1899-1932)*, Mme Roberts, MM. *I.S. Bowen(1898-1973)*, Hagen, *Jeans*, Knox-Shaw, *Lampland*, Lundmark, M. *Madwar (1893-1973)*, C. Parvulesco (1890-1945), Reynolds, Shapley, V.M. Slipher, *R.J. Trumpler (1886-1956)*, *H. Vanderlinden (1892-1983)*, Van Maanen, E. *Von Zeipel (1873-1959)*, Wright et *H. Zanstra (1894-1972)*. Cette composition appelle deux remarques : le nombre de plus en plus grand d'astronomes qui s'intéressent à ce sujet : 19 au lieu de 13 en 1922 et l'absence des français (Bigourdan et Fabry l'ont quittée) qui sont cependant présents dans de nombreuses autres commissions. La cause ne réside pas, à cette époque, dans des raisons techniques, puisque les astronomes français disposent des instruments adaptés au moins au projet d'exploration systématique comme nous le développerons plus loin.

---

[335] (Hubble, 1928)

[336] Les noms des nouveaux membres sont en italique.

Au congrès de 1932 à Cambridge (Mass. U.S.A.), Slipher est toujours membre de la commission et un long rapport de Lundmark[337], faisant fonction de président à la place de Hubble absent, indique qu'un très grand nombre de travaux ont été réalisés. La sous-spécialisation de l'astronomie extragalactique est désormais bien constituée et en plein essor.

Ainsi, la présidence de Slipher a permis de fédérer des personnalités aussi fortes et différentes que celles de Hubble, Shapley ou Reynolds grâce à la notoriété acquise par ses travaux unanimement reconnus. Sa perspicacité lui a fait reconnaître les grandes qualités scientifiques d'Edwin Hubble, mais en modérant ses ambitions, notamment en matière de classification, il a contribué à faire évoluer ses idées et ses travaux dans un sens constructif et acceptable par tous. En deux congrès, la commission des nébuleuses présidée par Slipher avait réuni en son sein les plus brillants spécialistes et le succès de la Commission fut sensible dès 1932.

5. Slipher et le milieu astronomique

5.1. Relation avec les autres astronomes

5.1.1. Relations épistolaires, visites.

Au tout début du XXe siècle, les distances sont grandes mais les moyens de communication assez lents car il n'y a pas encore d'avions mais néanmoins un bon réseau ferroviaire : le train arrive à Flagstaff qui n'est pourtant qu'une petite bourgade. Malgré ces difficultés, les astronomes sont loin d'être isolés.

D'abord ils communiquent très régulièrement, s'échangent des documents et même du matériel, notamment des plaques photographiques. Le nombre de lettres reçues et écrites par Slipher est considérable ; il se chiffre à plusieurs centaines.

Par ailleurs, ils se rendent visite les uns les autres. Là encore, les archives en témoignent. Slipher a connu Campbell en 1905 lors d'une visite de ce dernier à l'observatoire Lowell. Il a reçu un grand nombre de personnalités diverses : Fath trois fois (1912, 1915 et

[337] (Lundmark, 1932)

1919), Paul Merril en 1918, Hubble en 1923, Eddington en 1924, l'abbé Lemaître en 1925, de Sitter en septembre 1931. Einstein[338], invité, décline l'invitation en invoquant ses charges de travail dans le domaine de l'atome.

Par contre il semble que Slipher a relativement peu voyagé. On sait qu'il s'est rendu à Yerkes en 1907 et qu'il a rencontré Heber D. Curtis le 9 mars 1918[339]. Il a fréquenté régulièrement les congrès mais il s'y est parfois fait représenter et d'autres que lui y lisaient ses travaux. Il est vrai qu'il était réellement surchargé de travail et que l'équipe de l'observatoire Lowell était peu nombreuse. Il s'est rendu au Royaume Unis en 1933 pour recevoir la médaille d'or de la Royal Astronomical Society.

Il a entretenu des relations particulières avec certains astronomes. Nous avons vu l'abondante correspondance échangée avec John Miller mais ce sont surtout celles entretenues avec deux éminents astronomes, W.W. Campbell et E. Hubble qui nous retiendront .

5.1.2. Relations particulières avec W.W. Campbell

Leur correspondance occupe trois classeurs. Ils contiennent des courriers qui s'étendent entre 1903 et 1935. Il s'agit principalement de lettres de Campbell à Slipher à l'exception des deux premières lettres adressées à l'observatoire Lowell, l'une pour obtenir des informations sur le site de l'observatoire et l'autre pour demander de le visiter à l'occasion d'un voyage touristique dans la région. Elle est datée du 6 novembre 1905. Ultérieurement toutes les lettres sont adressées à Slipher. Par ailleurs nous disposons de trois brouillons de lettres destinées à Campbell et de la main de Slipher. Les archives de l'observatoire Lick complètent ces informations.

Tous les courriers de Campbell témoignent des excellentes relations qui existent entre les deux astronomes, l'aîné conseillant Slipher qui sollicite par exemple son avis pour l'achat du spectrographe. Plus tard, Slipher lui communique ses premiers spectres d'étoiles afin de recueillir ses critiques. Campbell répond rapidement à toutes ses demandes et l'encourage, il trouve en effet ses spectrogrammes excellents. Un peu plus tard Campbell lui demande de réaliser, puis de lui envoyer des spectres comparés de la Lune et de Mars, pris la même nuit dans des conditions identiques. Les échanges se poursuivent sur les binaires spectroscopiques et c'est ici Campbell qui demande des avis à Slipher.

---

[338] Lettres échangées entre Vesto M. Slipher et Albert Einstein en 1931.LOA

[339] Lettre de Heber D. Curtis à William W. Campbell du 9/3/1918. Lick OA.

Des conflits ont existé entre Percival Lowell et notamment les directeurs des observatoires Yerkes (Chicago University) et Lick. Cette opposition a été analysée par Lankford[340] et nous avons retrouvé dans les archives des informations supplémentaires sur le rôle qu'a pu jouer Slipher dans ce débat. Initiée par Holden de Lick en 1888 et par Lowell, la querelle porte sur les qualités respectives des sites des observatoires et de leurs instruments que Lowell estime supérieures à Flagstaff. La grande presse devient le lieu du débat, ce qui agace les astronomes comme Campbell. À la demande de Lowell, en 1908, Slipher a dû s'impliquer dans cette querelle. Signalons en outre que Lowell[341] avait demandé à Slipher d'écrire une lettre dans laquelle il s'opposerait à l'élection de W.W. Campbell à l'*American Academy of Arts and Sciences*. Nous n'avons trouvé aucune trace de réponse de Slipher. Il est vraisemblable qu'il ne l'a pas écrite car les lettres suivantes adressées à Lowell n'en parlent pas. Une lettre de Campbell à Slipher[342] montre qu'il a pris part à la querelle dans la revue grand public *The Outlook*, mais que Campbell ne lui en tient pas rigueur et cet événement sera sans suite pour les relations entre les deux hommes.

»… As to your letter in THE OUTLOOK and the subject in general : I regret exceedingly that you did not recall it by mail or telegraph, immediately following your regret at having mailed it. I am not anxious to have the last word on this or any other subject; and, while the scientific questions involved are as stated in my last letter to you, it was not the scientific points of your published letter (true or not true) which displeased me so toughly. Mr. Lowell, to support the trustworthiness of his observations, chiefly of Martian canals, and perhaps certain old theories concerning the planet, published in popular magazine a definite claim that more stars could be seen with his 24-inch telescope than with our 36-inch. Expressed in military language, he took the offensive attitude; and this claim was repeated in so many places, with variations, that his attitude finally became offensive in the every-day sense. It was my plain duty to make a defensive reply, for he was building up his popular superstructure at our expense. I answered his claim in so far as it concerned us. He did not put forward my counter claim. You then entered the public arena, not to support Mr. Lowell original claim that he could see more stars than we, but to present an essentially new and unrelated claim, --that we ought to see twice as many stars as Lowell. It matters little in dealing with the general public whether the writer uses the words "about" or "approximately" or "nearly"; the general reader is not interested in those details and they make no impression upon him. I think it was entirely uncalled for that Mr. Lowell should have endeavoured to boost his work at our expense, in the first place: and I think it was equally uncalled for that you should inform the public that the Lick telescope should show twice as many stars as the Lowell telescope and that it did not.

---

[340] Ce conflit est relaté avec précision par Lankford J. pp 200-206.
[341] Lettre de Percival Lowell à Vesto M. Slipher du 29/10 /1910. LOA.
[342] W.W. Campbell à V.M. Slipher. 22 novembre 1909. LOA.

If Mr. Lowell sought support for his observations the delicate details on a bright planet through the fact that he could see more faint stars than another observer, he should not complain about a statement that Mr. Lowell had used large telescope for ten years in the observation of difficult objects. Observing systems of delicate canals on Mars, Venus and Mercury must, in the nature of things, be an excellent training in getting out of a telescope all there is in it. It is a poor rule that will not work both ways.

Ce conflit n'a en aucun cas altéré les relations entre Campbell et Slipher. Tous les courriers ultérieurs en témoignent. D'ailleurs, peu de temps après cet épisode, Campbell fait inviter Slipher à participer à un comité sur les vitesses radiales des étoiles. Les courriers échangés avec George E. Hale[343] confirment l'estime de Campbell pour Slipher :

Campbell écrit à Hale: « I do not feel sufficiently informed as to the policy of the Editorial Board of the Proceedings of the National Academy to judge whether it would be advisable to ask Dr V.M. Slipher of Flagstaff to supply a short article on his observations of the spiral nebulae radial velocities. This work appears to be excellent and is certainty of this highest interest though I am not ready to say that radial velocities if the true explanation for the enormous line displacement. What is your opinion as to this … of sending the invitation and who would be the one to extend it ? Perhaps Frost, as he is a member of the editorial board ?"

Et Hale répond: "As for Slipher, I am almost sure that Frost told me he had invited him to contribute to the Proceedings. I will invite him to be sure, as Slipher's work appears to be good, as you remark."

5.1.3. Relations particulières avec Hubble.

Hubble n'est arrivé au Mont Wilson qu'en 1919, en raison de son engagement militaire dans la Première Guerre Mondiale. La correspondance avec Slipher commence en 1922, lorsque se crée la commission sur les nébuleuses à l'*Union Astronomique Internationale*, mais elle se poursuivra jusqu'au décès de Hubble en 1959. Ce dernier, qui veut faire adopter par l'UAI sa classification des nébuleuses, a besoin de Slipher. D'un autre coté, Slipher prend immédiatement conscience des grandes qualités scientifiques de Hubble. Il sait cependant le modérer, (car, comme nous le verrons plus loin, Hubble n'est pas d'un abord facile) et fait progresser au sein de la commission ses très bonnes idées. Lorsqu'il prendra à son tour la présidence de la commission, Hubble trouvera le terrain bien préparé pour faire aboutir ses projets.

Les courriers échangés montrent que les deux astronomes s'estiment. Slipher tient grand compte des avis de Hubble dans les propositions qu'il fait à l'UAI. On a parfois reproché à Slipher de n'avoir pas soutenu la classification de Hubble auprès de la commission

[343] Lettre de W. Campbell à G. Hale du 4/2/1915 et réponse de Hale du 10/2/1915. Lick OA.

des nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale. Il est vrai que Slipher est réticent au classement des nébuleuses spirales sur un critère d'évolution (précoces à tardives). Néanmoins il présente la proposition de Hubble à la commission, qui est aussi réticente que Slipher[344]. Hubble est alors amené à déclarer que, dans son esprit, sa classification doit être prise dans un sens purement descriptif sans prendre en compte ces digressions évolutives. Ajoutons que lorsque Hubble préside une séance de la commission à la réunion de l'UAI de 1928, il ne réussit pas mieux à faire accepter sa classification, mais il l'a déjà publiée dans *The Observatory* l'année précédente.[345] L'avis général est alors d'attendre d'avoir accumulé un plus grand nombre d'observations et de photographies pour adopter une nouvelle classification.

Cependant tout n'est pas parfaitement serein dans leurs relations. Il faut en particulier noter que dans son article sur les vitesses radiales de 1929, Hubble ne cite pas les travaux de Slipher dont il utilise pourtant les données. Il déclare en effet que 46 vitesses radiales sont disponibles dont quatre seulement sont dues à Humason mais ne cite pas l'origine des autres. Peut être estime-t-il que puisqu'elles ont été publiées, il n'a pas besoin de citer leur auteur ! Ce n'est qu'en 1953 qu'il cite Slipher dans le texte de sa conférence à la *Royal Astronomical Society de Londres*[346]. Lorsque Hubble publie son article sur la rotation des spirales[347], nous avons vu que Slipher qui avait pourtant été relecteur de son manuscrit et avait commenté longuement son travail, note[348] : « Hubble has added nothing in the matter ". Et plus loin, il continue sa critique de Hubble: « Hubble seems to call dark lane of slightly inclined spirals as a "new ? criterion" which means he did not understand/read the method here formulated 25 years ago…" On sent percer chez Slipher un peu d'amertume. Cependant, dans cet article Hubble fait un éloge appuyé des

---

[344] Lettres échangées avec Edwin Hubble de 1922 à 1927 (LOA) ainsi qu'avec les autres membres de la commission pendant la même période. Voir aussi les manuscripts et les rapports publiés de Slipher pour l'UAI. Slipher ne fit pas accepter la classification de Hubble, mais ce dernier, lui-même ne réussit pas mieux. Voir le compte-rendu : *Meeting of the Commission* p 250. Transactions of the International Astronomic Union. Volume III; 1928: *"Dr Hubble also thought that decision on the exact scheme of classification of the nebulae to be used in the catalogue had better await the completion of the survey…*"

[345] (Hubble, 1927)

[346] George Darwin Lecture, 8 mai 1953.

[347] (Hubble, 1943)

[348] Working papers ; Dossier 4-33 Direction of spiral rotation 1943 – 1949. LOA.

travaux de Slipher et reconnaît qu'il avait totalement raison, contre van Maanen et maintenant contre Lindblad à propos de la rotation des spirales.

En 1953, à propos du livre de Hubble : « *The Realm of the Nebulae*", nous avons relevé une correspondance échangée avec l'astronome Friederisch E. Brasch[349]. C'est ce dernier qui déclare à Slipher: "I regret to note that many omissions are to be found in Hubble's "The Realm of the Nebulae". Il évoque l'absence de citations suffisantes des travaux de Slipher. Il lui répond, avec sa courtoisie habituelle, en parlant aussi de l'omission par Hubble des travaux des équipes de Lick : « I am glad to know of (can share) your regrets overglaring omissions from "*The Realm of the Nebulae".* This is especially surprising following that promising first paragraph since "they standing on the shoulder of giants… a thousand years hence, even our [the Realm's] dreams may be forgotten." It seems to me that book qualifies itself by its unwillingness to be compared with all the Lick astronomers had done to develop and cultivate the study of the nebulae. Indeed it was the work of Keeler at Lick with that Crossley reflector that showed those to be followed that the reflector telescope is indeed a capable and promising telescope and certainly stimulated Hale and Ritchey to make the Mt Wilson 60-inch and 100'' reflectors."

Par contre, en 1937, Hubble sollicité pour juger une demande de soutien financier sur un projet de l'équipe dirigée par Slipher, donne un avis favorable à l'attribution d'une subvention par l'*American Philosophical Society*.[350]

Leur correspondance ne traduit aucune réserve de la part de Slipher et les lettres de Hubble très respectueuses montrent qu'il reconnaît tout à fait l'excellence des travaux de pionnier de Slipher.

En fait, ces échanges de lettres et les documents tirés des archives illustrent la personnalité publique de Hubble, cherchant à se mettre en avant et sûr de lui. Mais il se comportait avec Slipher comme il le faisait avec les autres astronomes[351], que ce soit avec ceux de Lick ou même du Mont Wilson[352]. En effet, l'analyse des documents d'archives du Mont Wilson, ouvertes à la recherche en 1990, a permis à Brashear et Hetherington de montrer que l'atmosphère était tendue au Mont Wilson. Le directeur de l'observatoire, Walter S. Adams et Frederic H Seares[353] durent contraindre Hubble à publier un document édulcoré sur le conflit qui l'opposait à van Maanen. Les lettres de Adams à John Merriam, président de

---

[349] Lettres de Friederisch Brasch à Vesto Slipher du 30/7/1952 et réponse de Slipher. LOA.

[350] Lettre de Edwin Hubble à Vesto Slipher du 28/5/1937. LAO.

[351] On peut consulter à ce propos l'article de Brashear qui montre l'avis de Hale sur Hubble (Brashear and Hetherington, 1991).

[352] Voir par exemple Allan Sandage (Sandage, 2004) pp 520, 529.

[353] Directeur des publications de l'Observatoire du Mont Wilson

la fondation Carnegie montrent que Hubble était assez virulent quant à la fausseté des résultats de van Maanen. Adams, qui ne voulait pas d'une polémique publique, tout en reconnaissant pourtant la véracité des affirmations de Hubble, dût faire acte d'autorité envers Hubble qu'il dépeint ainsi : »…(Hubble) showed a distinctly ungenerous and almost vindictive spirit.[354] » Dans ses mémoires[355], Harlow Shapley se plaint aussi de Hubble : « He never aknowledged my priority…"

5.2. L'acceptation des travaux de Slipher par la communauté des astrophysiciens[356].

5.2.1. Une critique méthodologique de John Reynolds.

La seule critique publiée des mesures de Slipher vient de John Henry Reynolds (1874-1949), un spécialiste des vitesses radiales des étoiles mais aussi un fort opposant à l'hypothèse des Univers-îles. Ce dernier, un riche industriel anglais autodidacte en astronomie, possédait son propre observatoire près de Birmingham[357]. Il avait aussi doté un observatoire égyptien, situé à Halwân, d'un télescope de 30 pouces d'ouverture (76 cm). Il allait souvent y observer des nébuleuses et sa renommée devint telle que les astronomes du Mont Wilson lui communiquaient leurs plaques photographiques pour avoir son avis. Il publia vingt-sept articles sur les nébuleuses de 1912 à 1938 dans les *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* mais n'effectua aucune mesure de vitesse radiale. Il fut trésorier puis président de cette prestigieuse société. C'est pour cela que son article critique a été regardé avec attention par Slipher.

---

[354] (Brashear and Hetherington, 1991)

[355] (Shapley, 1969)

[356] Cette communauté en est à sa troisième génération. Elle s'individualise des astronomes « classiques » sous l'impulsion de E. Hale. Voir pour une étude très précise de cette communauté scientifique (Lankford and Slavings, 1997) ainsi que (Smith, 1982) pp 118 à 124.

[357] (Johnson, 1950)

Dans une lettre à l'éditeur[358], il s'en prend directement au travail de Vesto Slipher, comme à celui du Mont Wilson. Il doute de la possibilité d'obtenir, pour les nébuleuses, des mesures fiables de vitesses radiales, et considère dans tous les cas qu'elles « n'ont pas le même poids que celles des étoiles, beaucoup plus brillantes ». Selon lui, le spectrographe utilisé par Slipher ne serait pas assez dispersif comparé à celui du Mont Wilson qui déroule un spectre sur une échelle linéaire de 4,3 mm pour des longueurs d'onde situées entre 3930 et 4950 Angströms. Même avec ce dernier instrument, Reynolds ajoute qu'un déplacement de 0,1 mm correspond à une vitesse de 90 km/s. Et comme il faut, selon lui, 80 heures de pose pour obtenir le spectre, les changements de température et de pression atmosphérique qui ne manquent pas de se produire sur une telle durée sont suffisants pour entraîner des variations de même amplitude. Par ailleurs, concernant les observations du Mont Wilson, le spectre de référence n'est capté qu'une seule fois au cours d'une pose d'une seconde, ce qui suffit, dit-il, pour entraîner une grande erreur. Reynolds appuie ensuite sa critique sur les écarts entre les mesures de la vitesse radiale de la grande nébuleuse d'Andromède (-300 km/s pour Slipher et -450 pour Wolf), mais il reconnaît qu'elles sont proches pour N.G.C. 4594. Il termine sa note en déclarant que, pour l'instant, on ne peut pas considérer les vitesses des nébuleuses comme définitivement acquises.

Slipher[359] fait remarquer que la grande vitesse des nébuleuses, en comparaison de celle des étoiles, entraîne des décalages spectraux plus grands. Ainsi, la plus faible résolution spectrale de son instrument est selon lui compensée par un décalage plus important. Slipher précise en outre que son matériel est systématiquement étalonné avec des objets de vitesse connue. Enfin, contrairement à la pratique du Mont Wilson, les spectres de référence sont captés et superposés aux spectres de chaque nébuleuse tout au long de la longue exposition et non pas seulement en fin d'exposition. L'écart entre les observateurs est, selon lui, la même que dans le cas des observations d'étoiles soit environ 20%. En effet, fait-il remarquer, la concordance des quatre observations des vitesses de la nébuleuse d'Andromède est aussi bonne que celle donnée par exemple pour l'étoile Canopus dans le catalogue des vitesses stellaires de Campbell, un spécialiste reconnu par tous. Et Vesto Slipher de conclure : « Nous serions vraiment très heureux en science si l'imprécision de l'observation n'était pas supérieure à une petite fraction de la quantité observée ».[360] En fait, il faut rappeler que les astronomes de position, dont

[358] (Reynolds, 1917)

[359] (Slipher, 1917b)

[360] Vesto Slipher a sélectionné un type de nébuleuses, les spirales. A cette époque la question des univers-îles ne se posait en effet que pour ce type d'objet, ce qui est la justification de son choix. On sait, depuis Hubble

Reynolds faisait partie, réalisaient des mesures beaucoup plus précises que les astrophysiciens et critiquaient les seconds pour l'imprécision de leurs mesures[361].

Cette discussion pose plusieurs problèmes. Le savoir-faire de Slipher, sa méticulosité apparaissent dans ses courriers adressés à Lowell et dans les précautions qu'il prend avant de rendre public ses résultats[362]. La controverse qui s'est engagée avec Reynolds (en tout et pour tout à travers deux lettres à l'éditeur) a eu un effet positif sur Slipher qui vérifie ses méthodes, tient compte des suggestions de Reynolds et multiplie ses mesures. S'établit-il un consensus sur la validité des mesures de vitesse radiale et donc leur grande amplitude ? Il apparaît que Reynolds ne se manifeste plus sur ce sujet et Campbell les cautionne de son autorité. Il semble donc qu'un consensus sur les mesures des vitesses radiales soit obtenu, au moins après les publications de 1917. Il s'établit à partir de plusieurs arguments, scientifiques d'abord, par la répétition concordante des mesures par Slipher ainsi que par d'autres astronomes, argument d'autorité ensuite, puisque la communauté des astronomes admet ces vitesses élevées comme un fait qui n'est plus discuté. En 1925 Reynolds est membre de la commission des nébuleuses dont Vesto Slipher est le président. Les documents conservés à l'observatoire Lowell ne font pas état de controverse sur ce sujet.

5.2.2. Deux autres controverses sur la question de la rotation des spirales.

La première n'a pas opposé directement les deux astronomes qui se sont intéressés à ce problème, Slipher et van Maanen mais leurs points de vue divergent quant à la vitesse et, pour certaines spirales, sur la direction de rotation. (voir chapitre 3.5). C'est en fait Edwin Hubble qui a mis en relation les observations de ces deux astronomes. Il prend parti pour la conception de Slipher. Harlow Shapley, après avoir soutenu van Maanen, reconnaît qu'il a été influencé par son amitié avec lui mais que les conceptions de Slipher étaient exactes.

---

qu'ils correspondent tous à des galaxies. C'est une raison qui fait que les vitesses radiales sont toutes élevées. Un second élément est en faveur d'une certaine homogénéité des résultats : le diamètre des télescopes employés ne permettait de mesurer les vitesses radiales que pour des spirales proches dont la vitesse, comme le montrera Hubble en 1929 reste relativement peu élevée.

[361] Sur les conflits entre astronomes traditionnels et astrophysiciens voir (Lankford and Slavings, 1997) pp 61 à 70.

[362] Slipher 1917. Op. Cit.

La seconde controverse oppose l'astronome suédois, Bertil Lindblad à propos de l'orientation des nébuleuses spirales dans l'espace. Cette conception l'amène à obtenir, au contraire de Slipher et de Hubble, que les galaxies tourneraient, non pas en enroulant leurs bras, mais en les déroulant. Les études ultérieures, en spectroscopie, mais aussi en radioastronomie, confirment les vues de Slipher.

Dans les trois situations examinées, c'est le point de vue de Slipher qui finalement l'a emporté et cela malgré des problèmes liés à sa stratégie de publications sur lesquelles nous reviendrons.

5.2.3. La présentation des travaux de Slipher par ses contemporains.

Nous examinons ici comment les travaux de Slipher ont été intégrés, par les astronomes contemporains de Slipher, dans les ouvrages qu'ils écrivent, destinés le plus souvent, à un public d'étudiants ou d'amateurs éclairés.

Hector Macpherson, en 1926, dans un ouvrage de vulgarisation[363] présente les principaux travaux de Slipher : celui sur les Pléiades et la découverte des nébuleuses par réflexion. Ses travaux sur les nébuleuses spirales sont résumés par cette simple information: « In 1912, Dr. V.M. Slipher announced that the average velocity of the spirals is 'about twenty-five times the average stellar velocity'…" Concernant leur rotation, seuls les travaux de van Maanen sont retenus ; ceux de Slipher et ceux de Pease ne sont pas cités.

En 1928 Henry N. Russel, Raymond S. Dugan (1882-1967) et John Q. Stewaert (1894-1972) publient un ouvrage, « *Astronomy* », sous-titré « *A revision of Young manual of astronomy*"[364]. La seconde partie s'intitule « *Astrophysics and stellar astronomy* ». Dans la question de la rotation, Slipher est juste cité et ce sont les travaux de Pease que les auteurs détaillent. Par ailleurs ils mettent en évidence la discordance (de un à dix) entre les mesures de van Maanen et celles de Lundmark qui utilisent tous deux la même méthode. Les travaux de Slipher sur les vitesses radiales sont eux très largement cités.

La même année paraît un autre ouvrage d'un astronome américain Edward Fath intitulé : « *The elements of Astronomy* »[365]. il s'agit d'un manuel destiné à l'enseignement. Il présente les différents points de vue sur la question en signalant, qu'avec la distance mesurée

[363] (Macpherson, 1926) p. 134
[364] (Russell et al., 1927)
[365] (Fath, 1928)

par Hubble pour la nébuleuse d'Andromède, combinée aux périodes de rotation mesurées par van Maanen, celle-ci devrait tourner à 40 000 km/s, ce qui lui semble impossible. Il fait remarquer aussi qu'il n'est pas bien possible de comparer les deux méthodes de mesure de la rotation pour un même objet. En effet, la méthode spectroscopique ne s'applique que pour les nébuleuses inclinées sur l'axe de vision et celle de van Maanen pour celles qui sont vues de face. Les vitesses radiales sont évoquées sans aucun nom d'auteur.

Dans un excellent ouvrage publié en France en 1928[366] et destiné à l'enseignement, Jean Bosles, professeur d'astronomie, cite Slipher à propos des vitesses radiales et reprend ses dernières hypothèses. Il lui attribue l'idée que les nébuleuses spirales sont en expansion, terme qu'il utilise. Par ailleurs, il cite abondamment ses études sur leur rotation.

En 1931, H. Faye publie un cours destiné à l'*École Polytechnique*[367]. La question des nébuleuses spirales est à peine ébauchée et aucun des protagonistes de ces recherches n'est cité. Cet aspect contraste avec la grande richesse de l'ouvrage en ce qui concerne l'astronomie dite « classique ».

En 1933, Henri Mineur[368], dans un exposé qui résume la seconde partie d'une conférence à la *Faculté des Sciences de Paris* en 1931-1932 dit en introduction : « Nous sommes redevables de ce progrès pour moitié à la théorie d'Einsteint et pour moitié à l'observation de la récession des spirales faite par Hubble à l'observatoire du Mont Wilson ». Mais page 16 il cite Slipher comme ayant reconnu dès 1919 que les spirales étaient douées de vitesses radiales qui augmentaient avec la distance.

Nous avons beaucoup évoqué les articles et les relations épistolaires de Edwin Hubble avec Slipher. Dans son ouvrage de synthèse publié pour la première fois en 1937, "*The Realm of the nebulae*"[369], écrit alors que Hubble a acquis une grande notoriété, il cite à neuf reprises les travaux de Slipher :

"The publication of Slipher's extensive list of radial velocities of nebulae, which furnished data of a new kind and encouraged serious attempts to find a solution of the problem." (the nature of the nebulae).

"The data which were considered of greatest significance were the extraordinary radial velocities, measured by Slipher, and the large angular rotation of M101, measured by van Maanen"

[366] (Bosles, 1928)

[367] (Faye, 1931)

[368] (Mineur, 1933)

[369] (Hubble, 1937)

Le paragraphe qui commence par *The first radial velocity,* (van Maanen, 1923), est entièrement consacré à la relation des travaux de Slipher. Il est suivi p 105-106 par « *Slipher's list of radial velocities* ». Il relate enfin la mesure de Slipher du mouvement du Soleil par rapport aux nébuleuses.

Hubble aborde la relation vitesse-distance et signale, pour la première fois, que dans sa première étude de 1929 il a utilisé les vitesses radiales de Slipher et que c'est ensuite Humason qui a pris le relais en mesurant des vitesses radiales et des distances pour des nébuleuses moins lumineuses.

Gérard de Vaucouleurs, grand spécialiste des galaxies, publie en 1958 « *L'exploration des galaxies voisines* »[370] . À cette période, Slipher s'est retiré de la direction de l'observatoire Lowell. Sa relation des travaux de Slipher est précise, par exemple page 85, à propos des spectres des nébuleuses : « Une première série d'observations systématiques fut pourtant[371] obtenue entre 1913 et 1922 à l'observatoire Lowell, Flagstaff (Houk, 2000) par V.M. Slipher, qui réussit à obtenir les spectres d'une quarantaine de nébuleuses. » et page 88 : « La présence de raies d'émission plus ou moins intenses avait été remarquée depuis longtemps (V.M. Slipher 1913-1922). » Puis page 89 « Dans certains objets relativement rares les raies d'émission apparaissant dans les régions nucléaires des galaxies sont extrêmement intenses et larges ; ce phénomène fut découvert dès 1917 (dans N.G.C. 1068 = M77) par V.M. Slipher… » Encore page 124 : « La rotation d'une spirale (N.G.C. 4594) fut décelée spectroscopiquement pour la première fois par V.M. Slipher à l'observatoire Lowell… Par cette méthode[372], la rotation de plusieurs spirales fut décelée par Slipher entre 1914 et 1922… » et enfin page 129 : « V.M. Slipher utilisa ce critère pour déterminer le côté le plus proche du petit axe (le côté obscurci) ; il en conclut que les bras des spirales sont « à la traîne » dans la rotation. »

C'est ainsi l'astronome qui cite avec le plus de précisions les travaux de Slipher et leur caractère novateur. C'est aussi le seul qui met en évidence l'importance de ses découvertes pour la connaissance des galaxies.

Harlow Shapley en 1944, dans "*Galaxies*",[373] est au contraire peu disert sur l'apport de Slipher à la connaissance des galaxies: "Hubble and Mayal have recently made observations that appear to confirm definitely the early conclusion of V.M. Slipher that a rotating spiral trails its arm behind it." Et page 202: "The radial velocities now available are largely the work of one specialist, Milton Humason of the Mount Wilson Observatory… Important pioneer work in this field was done by V.M. Slipher at the Lowell Observatory;

[370] (De Vaucouleurs, 1958a)

[371] Les premières tentatives se contentent de parler de spectre de type solaire.

[372] Fente dirigée parallèlement au grand axe et observation de l'inclinaison des raies spectrales..

[373] (Shapley, 1944) p 172.

and the Lick Observatory astronomers have also contributed significantly." Shapley ne mentionne nullement l'utilisation par Hubble des vitesses radiales de Slipher pour établir sa relation vitesse/distance.

F. Zwicky 1957 dans « *Morphological Astronomy* »[374] cite Slipher à de nombreuses reprises: à la page 4: "From 1910 to 1925 V.M. Slipher carried through his most fundamental program on the radial velocities of galaxies which he found to lie in the range from –300 km/sec to + 2000 km/s." Puis page 117 "Internal rotational velocities were soon afterward investigated by Slipher and M. Wolf and later on particularly by Pease, Humason and Mayal." Et enfin page 120 "Already from the early observations of the spectra of distant galaxies by V.M. Slipher it became obvious that some of the apparent velocities of recession are unduly great (Slipher found them as high as 2000 km/sec). Professor Lundmark was the first to suggest a correlation between the apparent velocity of recession V, and the distance D." Et rappelons-le, il le fit avec les mesures de Slipher.

Ainsi, la plupart des ouvrages des contemporains de Slipher lui attribuent le grand mérite d'avoir découvert la grande vitesse radiale des nébuleuses spirales. Cependant cette reconnaissance est exprimée de façon très limitée par Shapley. Pour Hubble la reconnaissance des travaux inauguraux de Slipher apparaît tardivement, peut être à un moment ou sa notoriété personnelle établie, il se sentait plus libre de reconnaître les apports de Slipher. Tous citent sa découverte de la rotation, aussi bien en ce qui concerne la vitesse et le sens de cette rotation, et cela de façon appuyée par Hubble en 1943. De Vaucouleurs insiste en outre sur ses études spectrales précises. Aucun, à l'exception des français Bosles et Henri Mineur, ne signale son affirmation des mouvements de récession des nébuleuses entre elles, ni son apport de preuves observationnelles de l'existence possible d'amas galactiques.

5.2.4. En dehors des controverses, des signes de reconnaissance.

Slipher a reçu les plus importantes distinctions honorifiques de son époque. En 1919, l'*Académie des Sciences de Paris* lui remet le *prix Lalande*.

[374] (Zwicky, 1957)

PRIX LALANDE.

(Commissaires : MM. Bigourdan, Baillaud, Hamy, Puiseux, Andoyer, Jordan, Lippmann, Émile Picard; Deslandres, rapporteur.)

A l'unanimité, M. **Vesto Melvin Slipher** est présenté par la Commission.

Il a fait toute sa carrière d'astronome à l'Observatoire Lowell, à Flagstaff, province de l'Arizona, aux États-Unis, et en est le directeur depuis deux ans. L'Observatoire, fondé par le regretté Percival Lowell, est peut-être, de tous les observatoires actuels, celui qui offre les conditions les meilleures pour l'étude du ciel. Il est situé loin des villes, au milieu du grand désert de l'Arizona, à 2200^{m} d'altitude; les astronomes attachés à ce lieu désertique ont nécessairement une grande abnégation et une réelle vocation pour la science.

M. Slipher a poursuivi avec le plus grand succès l'étude spectrale des astres, et en particulier des planètes et des nébuleuses.

Il a reconnu la présence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère de la planète Mars. Le spectre de la planète est juxtaposé sur la même plaque au spectre de la Lune, qui est plus basse sur l'horizon, et la bande caractéristique de la vapeur d'eau est notablement plus forte dans la planète.

Il a déterminé le sens et la durée de rotation, jusqu'alors inconnus, de la planète Uranus. Le sens a été trouvé rétrograde; et la durée de rotation est relativement courte, seulement 10 heures 42 minutes.

Les résultats sur les nébuleuses spirales sont de première valeur. Les spectres de ces astres sont très faibles; ils exigent, pour être photographiés, un ciel très pur et de longues poses poursuivies pendant plusieurs nuits consécutives. Or les premières épreuves ont montré des vitesses radiales considérables, très supérieures à celles des étoiles [1].

[1] La vitesse radiale des étoiles est, comme on sait, dans la très grande majorité des cas, inférieure à 35^{km} par seconde.

Les vitesses d'éloignementet de rapprochement par rapport à la Terre varient de 300^{km} à 1200^{km} par seconde, la moyenne étant environ de 500^{km}. Peu après, M. Slipher annonce dans plusieurs nébuleuses une rotation intérieure qui est notable et a lieu dans le sens des spires.

Récemment, la recherche a été étendue aux amas d'étoiles, qui ont donné une vitesse radiale moyenne de 150^{km} par seconde.

Ces dernières découvertes, dues en grande partie à M. **Slipher**, sont parmi les plus importantes de l'Astronomie physique.

L'Académie adopte la proposition de la Commission.

La *National Academy of Sciences* des États-Unis lui décerna la médaille Draper en 1932 pour l'ensemble de ses travaux de spectroscopie. Il côtoie ainsi les plus grand noms de l'astronomie comme John S. Plaskett (1934), Annie Jump Cannon (1931), William H. Wright (1928), Harlow Shapley (1926), Arthur S. Eddington (1924), Henry N. Russell (1922)… Mais pas Edwin Hubble.

Il reçoit également la Médaille d'or de la *Royal Astronomical Society* de Londres en 1933. le discours de Stratton[375] est particulièrement élogieux :

> Two other contributions of his to nebular spectroscopy have been of great interest to cosmogonists. The inclinations of spectral lines across the spiral nebulæ were used, as with the planets, to prove and to measure the rotations of the spirals : Dr. Slipher found that the inner portions of these nebulæ were moving out into the arms in the direction of a spring that is being wound up. Again, in the establishment of the high velocities of recession of the spiral nebulæ, another piece of pioneer work of great importance was carried out by Dr. Slipher. In a series of studies of the radial velocities of these island galaxies he laid the foundations of the great structure of the expanding Universe, to which others, both observers and theorists, have since contributed their share. If cosmogonists to-day have to deal with a Universe that is expanding in fact as well as in fancy, at a rate which offers them special difficulties, a great part of the initial blame must be borne by our medallist.

La *Médaille Bruce* de l' *American Society of the Pacific* lui est décernée en 1935. Parmi les astronomes de sa génération on trouve: Edward C. Pickering (1908), W. Wallace Campbell (1915), George Ellery Hale (1916), les Français Henri Poincaré (1911), Henri A. Deslandres (1921), Benjamin Baillaud (1923), Arthur Stanley Eddington (1924), Henry Norris Russell (1925), Max Wolf (1930), Willem de Sitter (1931), Ejnar Hertzsprung (1937), Edwin P. Hubble (1938) et Harlow Shapley (1939).

Il a été, nous l'avons vu, vice-président de l'*American Astronomical Society* en 1920, vice-Président de l'*American Association for the Advancement of Science* (1933) et Président de la commission des Nébuleuses de l'*Union Astronomique Internationale* (1922-1928). Fait inhabituel, il a été le seul à assurer deux mandats successifs. Alors qu'a-t-il manqué à Slipher ? C'est probablement plus de reconnaissance posthume surtout de la part de ceux, principalement parmi les astronomes, qui ont publié des articles ou des ouvrages historiques et plus encore peut–être, dans les introductions historiques de leurs articles scientifiques.

---

[375] (Stratton, 1933)

5.3. Utilisation des données de Slipher.

5.3.1. Dans le « grand débat ».

Le meilleur argument en faveur de la reconnaissance de la qualité des travaux de Slipher réside probablement dans leur utilisation très large par les astronomes contemporains, notamment par Curtis en 1920 lors du « Grand Débat »[376] ainsi que par Lundmark[377] et Eddington[378].

Il convient cependant de séparer l'acceptation de la grande vitesse radiale des nébuleuses spirales, le plus souvent en récession, des hypothèses que Slipher en déduit. Les mesures sont acceptées car reproduites par d'autres et cohérentes d'une nébuleuse à l'autre. Par contre, dans la période 1914-1920 la conception des univers-îles est loin de faire l'unanimité. Il n'y a pas de discours officiel sur l'Univers. C'est cependant ce que certains voudraient obtenir en organisant à Washington un « Grand Débat »[379] entre Shapley et Curtis, débat qui ne permet pas d'obtenir un consensus. Les travaux de Slipher sont utilisés par Curtis à l'appui de son argumentation, mais Shapley n'en fait pas état. Ainsi tous les astronomes n'acceptent pas les hypothèses inférées par Vesto Slipher à partir de ses mesures ; cependant des théoriciens vont prendre en compte ses travaux à l'appui de leurs hypothèses.

5.3.2. Contributions respectives des travaux de Slipher, de Lundmark et de Hubble à l'idée de l'expansion.

Slipher a montré que les nébuleuses spirales avaient une grande vitesse radiale et que ces vitesses étaient pratiquement toutes différentes. À partir de ces données il montre que le système solaire se déplace à la fois relativement aux étoiles de la Galaxie mais aussi par rapport à ces nébuleuses. Il aboutit à la conclusion que tous ces objets s'éloignent les uns des autres à quelques rares exceptions près.

---

[376] National Academy of Sciences 26 avril 1920

[377] (Lundmark, 1924b)

[378] (Eddington, 1917)

[379] La transcription complète des présentations de Shapley et Curtis peut être consultée dans : (Anonymous, 2003)

Lundmark lui, fait l'hypothèse que ces déplacements sont peut-être liés à la distance de ces spirales. Faute de mesures de distance précises il utilise ce qu'il pense être des indicateurs valables : leur magnitude et leur diamètre apparent. L'une de ses courbes semble montrer une relation de type quadratique.

La relation vitesse radiale-distance sera finalement établie par Edwin Hubble dès 1924. Le travail minutieux qu'est l'identification des variables Céphéides dans les nébuleuses spirales et les mesures des distances est indispensable à cette relation empirique. Il ne faut cependant pas oublier que l'autre membre de la relation est constitué des vitesses radiales qui, elles ont été mesurées par Vesto Slipher. C'est donc cette association de deux travaux, de même ordre de difficultés et de minutie, qui a conduit à cette relation dont on peut dire qu'elle modifie profondément la vision des astronomes sur l'univers. Le résultat aura une très grande importance en cosmologie, au point que nombre de cosmologistes actuels oublient que Hubble n'est en aucun cas l'inventeur de l'idée de cette relation, d'autres dont Lundmark l'avaient évoquée, et que le résultat est dû à une coopération entre deux hommes remarquables.

Edwin Hubble, enfin, en 1929, a utilisé les vitesses radiales de Slipher dans sa première publication de la relation vitesses-distances, sans cependant le créditer[380]. Milton Humason (1891-1972) poursuivra les travaux de Slipher, en les étendant à des galaxies, comme on les appelle dès 1924, de plus en plus lointaines. En 1934 il a rajouté 35 galaxies à la liste de Slipher et, deux ans plus tard cent nouvelles mesures rejoignent la liste des mesures de vitesses radiales.

Les travaux de Slipher, pratiquement les seuls disponibles, seront aussi utilisés très vite dans le contexte des études cosmologiques issues de la théorie de la Relativité Générale.

---

[380] Il ne lui rendra hommage que tardivement en 1953 en déclarant lors de sa conférence George Darwin : « *Vous devez vous souvenir que la première vitesse d'une nébuleuse spirale a été mesurée par Slipher en 1912 (-300 km/s pour M31). Je mentionne ce détail parce que le premier pas dans un nouveau domaine est le grand pas. Une fois quelle est ouverte, la voie est claire et tout peut suivre.* » .

5.3.3. Rôle des travaux de Slipher dans les théories de l'expansion. Einstein, de Sitter, Eddington et Lemaître.

Cet épisode de l'histoire de l'astronomie occupe une place centrale dans la question de l'expansion de l'Univers. Il n'est pourtant pas dans notre propos de retracer l'histoire des théories cosmologiques de Einstein[381] à Friedmann (1888-1925) et Lemaître[382]. Nous limiterons notre discussion au rôle qu'ont pu jouer les travaux de Slipher sur les hypothèses des théoriciens dans la période qui précède les publications de Hubble sur les distances des spirales (janvier 1925) et la relation vitesse-distance (1929).

Eistein et la cosmologie.

En 1917 Einstein étudie les conséquences de la Relativité Générale sur la forme et la structure de l'Univers[383]. Il pose plusieurs conditions a priori, l'homogénéité, l'isotropie de l'univers, son caractère fini, clos et surtout statique. Ce caractère statique est obtenu en rajoutant à son modèle une constante dite cosmologique λ[384]. Il s'agit d'un univers « cylindrique » de courbure positive indépendante du temps. Du point de vue topologique c'est une hypersphère de rayon R[385] déterminé par les conditions initiales. Dans cet article Einstein s'appuie sur une connaissance qu'il juge fondamentale, la très faible vitesse des mouvements propres des étoiles. Cet argument est pour lui fondamental au point de le citer cinq fois dans son article. Il ne fait pas allusion aux vitesses des nébuleuses, pourtant publiées depuis 1913. Il est difficile de dire si cela aurait changé son point de vue de 1917. En effet les vitesses radiales

---

[381] (Reichenbach, 1980)

[382] Pour une histoire détaillée de cette question on trouvera une information très complète dans l'ouvrage de (Luminet, 1997), dans celui de (Farrell, 2005) et celui de J. Eisenstaedt sur Einstein (Eisenstaedt, 2002)

[383] (Einstein, 1917)

[384] Il a rajouté un terme $\lambda\, g_{\mu\nu}$: "…ce dernier n'est nécessaire que pour rendre possible une répartition quasi statique de la matière, laquelle correspond au fait que les vitesses des étoiles sont petites », précise Einstein. Cette adjonction confère aux équations avec constante cosmologique une portée plus générales. Pour Einstein et la Relativité Générale voir l'ouvrage de Jean Eisenstaedt (Eisenstaedt, 2002)

[385] La notion de courbure de l'espace-temps peut être plus facilement comprise sur la sphère. Dans ce cas, la somme S des angles A, B, C d'un triangle est $S = A+B+C + S/R^2$ où S est la surface du triangle et R son rayon. La courbure spatiale de Gauss est égale à $1/R^2$. Le symbole R est appelé en cosmologie le rayon de courbure de l'Univers. Voir (Baryshev and Teerikorpi, 2002).

disponibles à cette date, prises ensemble, donnaient une vitesse moyenne de 600 km/s. Certes, cette vitesse est plus grande que celle des étoiles, mais elle reste très faible par rapport à celle de la lumière.

Les travaux théoriques de Willem de Sitter[386].

En 1916 et 1917, de Sitter publie une série de trois articles sur les conséquences astronomiques de la relativité générale. Le troisième concerne la cosmologie[387]. Il compare trois « systèmes » d'Univers qu'il nomme A, B et C. L'univers A est celui d'Einstein, empli de matière et statique, l'univers C est euclidien, sphérique et fini, et celui de De Sitter, hyperbolique également fini (B). Dans les univers B et C, la densité de matière est considérée comme nulle. Les vitesses radiales des objets célestes sont déterminantes pour tester ces modèles. Les planètes et les étoiles sont trop proches pour que leur contribution soit suffisante. De Sitter considère que les nébuleuses spirales sont probablement les objets les plus éloignés de l'univers. Il connaît les 41 mesures de Slipher grâce à Eddington qui les a publiés dans le compte-rendu de la 97eme réunion de la *Royal Astronomical Society*[388]. Seules les premières mesures de Vesto Slipher sont prises en compte car vérifiées par les mesures de Pease, Moore, Wright et Wolf mesures qui, rappelons-le, ont été suscitées par les premiers travaux de Slipher. C'est donc dès 1917 (et non pas en 1920 comme le propose Hetherington[389] que de Sitter a connu les travaux de Slipher. Il utilise huit mesures sur trois objets et, même s'il estime le nombre de mesures encore insuffisant, il considère qu'elles sont en faveur d'un modèle d'Univers qui admet l'expansion (système B), si, dit-il, ces mesures sont confirmées par d'autres. Il prédit en outre que les ondes lumineuses doivent être étirées, produisant un décalage, vers le rouge[390], d'autant plus important que les objets sont plus distants[391]. Quant à l'interprétation à donner à ce décalage il l'attribue à une expansion de

---

[386] De Sitter est un astronome hollandais. De 1899 à 1916 il a publié de nombreux articles d'astronomie « classique ». A partir de 1916 il s'intéresse à la théorie de la relativité mais il reprend dès 1917 ses occupations astronomiques et administratives comme directeur de l'observatoire de Leyde. Il participe de nouveau au débat cosmologique après les publications de Hubble en 1929. (Chant, 1934)

[387] (Sitter, 1917)

[388] Eddington A. (1917) Op. Cit. De Sitter indique qu'il tire ses résultats de ce rapport d'Eddington.

[389] (Hetherington, 1971)

[390](Sitter, 1917), page 26.

[391] Pour lui il existe une relation vitesse-distance qui est quadratique (c'est aussi ce que suggère la courbe donnée par Lundmark et discutée plus loin). En 1923 un physicien, Hermann Weyl (1885-1955) montre que la

l'Univers plutôt qu'à un mouvement de récession des nébuleuses spirales : «… the frequency of light-vibrations diminishes with increasing distance from the origin of co-ordinates. The lines in the spectra of very distant stars or nebulae must therefore be systematically displaced towards the red, giving rise to a spurious positive radial velocity." Le terme "spurious", fallacieuse, montre que de Sitter considère qu'au moins une part assez importante du décalage n'est pas due à un déplacement, contrairement à ce que pensent la plupart des astronomes en 1917.

Les vérifications des prédictions de la cosmologie relativiste par les astronomes.

On peut constater qu'en 1924, un certain nombre d'astronomes, comme de Sitter, Strömberg et surtout Ludwik Silberstein (1872-1948) ne font pas la distinction entre les amas globulaires et les nébuleuses spirales ; au contraire, Lundmark, Carl Wirtz et Slipher les distinguent et considèrent que les premiers appartiendraient à la Galaxie[392]. À cause de cette confusion, les résultats des uns et des autres apparaîtront parfois très contradictoires.

Ludwik Silberstein [393] propose en 1924 une méthode qui permet de calculer la courbure de l'espace-temps défendue par de Sitter. Il tente de la mesurer en utilisant les vitesses radiales des amas globulaires, ce que critique Lundmark qui lui reproche une sélection discutable de sept mesures sur les seize disponibles et, de plus, estime que leur distance n'est probablement pas assez grande pour que le faible effet de la courbure de l'espace-temps ne soit pas surpassé par le mouvement propre des amas globulaires[394]. D'autres objets, comme les nébuleuses, que Lundmark pense plus lointaines, ont des mouvements propres probablement plus faibles.

---

relation est linéaire et en 1927 Lemaître le confirme. C'est cette idée que Hubble mettra en œuvre dans ses travaux.

[392] Ce fait n'a pas été souligné par les études historiques antérieures. Il est cependant capital car les amas globulaires sont proches et en rotation autour du centre galactique au contraire des nébuleuses spirales. Cette confusion a un impact important sur les évaluations du rayon de courbure de l'univers et de la relation vitesse-distance.

[393] (Silberstein, 1924)

[394] (Lundmark, 1925) En novembre 1924, Silberstein répond à Lundmark. Il reconnaît que la nécessité d'étendre son étude à d'autres objets est *particulièrement bienvenue*, mais il persiste à penser que les amas globulaires sont de meilleurs candidats pour la mesure de la courbure de l'espace-temps. Lui aussi cependant fait appel à Vesto Slipher pour ses mesures portant sur les amas globulaires. Dans ses nouveaux calculs il mêle les amas globulaires, les deux Nuages de Magellan et une spirale (M33). (Silberstein, 1925)

Knut Lundmark reprend la méthode de Silberstein mais en utilisant, quant à lui, l'ensemble des dernières mesures effectuées par Vesto Slipher sur les nébuleuses spirales[395] qu'il compare aux données issues d'autres objets, dont les amas globulaires. Il pose clairement la question de la nature du décalage spectral, entre mouvement réel des objets et effet de la courbure de l'espace-temps. En prenant d'abord ce décalage comme un mouvement réel, il confirme les hypothèses antérieures de Slipher quant à l'association du système solaire à un vaste ensemble stellaire, la Galaxie, par rapport auquel dérivent les nébuleuses spirales. Dans une seconde partie de son article, Lundmark s'intéresse ensuite à la question de la courbure de l'espace-temps en utilisant différents objets de référence, dont les nébuleuses spirales, en soulignant que leurs grandes distances probables lui semblent plus propres au calcul de la courbure. Il évalue la distance de ces dernières par deux méthodes : celle de la magnitude totale et celle du diamètre apparent. En supposant que ces deux grandeurs ne dépendent que de la distance, il calcule des distances relatives rapportées à celle de la nébuleuse d'Andromède prise comme unité. Il met alors en relation ces distances avec les vitesses radiales mesurées par Vesto Slipher. Les points sont assez dispersés[396] mais Lundmark conclut à une relation possible entre vitesse et distance, tout en précisant que cette relation «reste encore obscure ». La courbure de l'espace-temps mesurée par cette méthode est de 2,4. 10^{12} km.

Arthur Eddington demande à Slipher ses 41 mesures de vitesses radiales, dont certaines encore non publiées, pour son livre « *Mathematical Theory of Relativity* » et ces observations confortent Eddington en faveur du modèle de W. de Sitter contre celui d'Einstein[397]. Il précise qu'il a calculé, uniquement sur des bases théoriques, la vitesse de récession en fonction de la distance et qu'il a trouvé la valeur de 528 (km/s)/Mpc. Cet accord entre la théorie (la sienne et celle de Lemaître) et l'observation (les vitesses radiales de Slipher et les mesures de distance de Hubble), impose, dit-il, une vérification des distances car les conséquences sont considérables : la dimension de l'univers observable double tous les 1,3

---

[395] Il compare également l'apex du Soleil selon que la référence est celle des spirales ou celle des étoiles proches. Le mouvement du Soleil diffère selon ces deux repères et Lundmark en déduit que le Soleil est probablement en rotation autour du centre galactique, tandis que la Voie Lactée est en mouvement relatif par rapport aux nébuleuses spirales.

[396] Ibid p 768. L'allure des points semble suggérer une relation quadratique. Dans un article cité par Zwicky, il établit en 1920 une relation quadratique : $Vr = a D + b D^2$.

[397] (Eddington, 1931)

milliards d'années et notre galaxie serait âgée de 100 milliards d'années, ce qui semble peu vraissemblable à Eddington.

Carl Wirtz, qui connaît les travaux de Slipher depuis 1917[398], appuie en 1924 les hypothèses de W. de Sitter avec 42 nébuleuses, dont les 41 communiquées à Eddington par Slipher : il établit une relation significative entre la vitesse radiale et le logarithme de la dimension angulaire des nébuleuses (possible indicateur de distance)[399].

Gustav Strömberg[400] qui travaille alors au Mont Wilson, a lui aussi obtenu de Vesto Slipher toutes ses mesures disponibles à ce jour, mais il en tire d'autres conclusions : les coordonnées de l'apex solaire ne sont pas différentes selon qu'il prend les amas globulaires ou les nébuleuses non-galactiques comme référence et il ne met pas en évidence de relation entre la distance de ces objets et leur vitesse radiale, ce qui, pour lui, contredit le modèle d'Univers de W. de Sitter.

En examinant ces différents travaux, il apparaît donc que les résultats de Slipher sont considérés comme d'une très grande importance par les astronomes qui, sans être nécessairement d'accord entre eux, mettent en place la cosmologie observationnelle.

D'autres utilisations des travaux de Slipher.

D'autres travaux affinent les conséquences cosmologiques de la Relativité Générale. Il faut citer en particulier ceux de d'Alexandre Friedmann, de l'abbé Georges Lemaître[401] et de Howard P. Robertson (1903-1961)[402].

Alexandre Friedman développe ses trois modèles non statiques, bien connus, précisant l'évolution possible de l'univers en fonction du temps. Pour tester lequel de ces modèles est le plus probable, Friedman manque cependant de données observationnelles, limitées à la densité des étoiles et une estimation de la taille de l'univers visible. Il ne semble

---

398 (Wirtz, 1918)

399 Il tente la même démarche avec l'éclat apparent de ces nébuleuses, mais la relation ne lui apparaît pas significative . (Wirtz, 1924)

400(Stromberg, 1925)

401 (Lemaître, 1927). On pourra se reporter à l'ouvrage de (Luminet, 1997) et celui de (Farrell, 2005)

402 (Robertson, 1928) Il utilise les distances des nébuleuses spirales mesurées par Hubble et les vitesses radiales de Slipher (Warner and University of Cape Town, 1983).

pas avoir utilisé les vitesses radiales dans son argumentation. Sa mort précoce, en 1925, ne lui permettra pas de poursuivre ses recherches.

Georges Lemaître a eu connaissance des travaux de Slipher dès 1924, lors de son séjour au *Harvard College Observatory* auprès de Harlow Shapley, où il avait accès à toutes les publications américaines. De plus, il a rencontré Slipher, comme l'atteste une carte postale envoyée à Slipher[403] pour lui annoncer son passage à Flagstaff. Lemaître connaît bien l'astronomie qu'il a étudiée d'abord auprès de Eddington puis ensuite avec Harlow Shapley. Dans son article de 1927[404], Lemaître applique à son hypothèse des données numériques empruntées à Slipher par l'intermédiaire de Strömberg[405] et donne une valeur de la vitesse radiale en fonction de la distance égale à 625 (km/s)/Mpc.

H.P. Robertson, en 1928, travaille sur la cosmologie relativiste[406]. Il calcule des distances avec différents modèle cosmologiques. Arrivé à ce point, il regarde les mesures disponibles et applique ses modèles théoriques à l'effet Doppler, puisque c'est à partir de ce principe que sont mesurées les vitesses radiales : « … so we must develop the theory of this effect for the space-time here considered. » Il montre qu'une partie de cette vitesse radiale est liée à l'expansion et qu'il peut en déduire la valeur du rayon du monde observable:

$V \approx c\ l/R$ où v est la vitesse , c celle de la lumière, l la distance des objets observés et R le rayon du monde observable.

Il utilise les données de Slipher publiées par Eddington[407] et la distance l calculée par Hubble en 1926[408] . Ceci lui permet de calculer $R = 2 \times 10^{27}$ cm qu'il compare à la valeur de $8{,}5 \times 10^{28}$ calculée par Hubble lui-même en appliquant aux équations simplifiées d'Einstein son estimation de la densité de matière dans l'espace. Robertson est satisfait dans la mesure où la différence entre les deux estimations, bien que basées sur des concepts très différents, n'est pas trop importante : « … the fact that the two values do not differ more is rather remarkable

[403] Carte postale de Lemaître du 21 juin 1925. LOA. Lemaître confirme en 1957 sa connaissance des mesures de Slipher.

[404] (Lemaître, 1927). Lemaître propose un modèle intermédiaire entre celui de Eistein et de Sitter. En effet il tend à devenir statique lorsque le temps tend vers 0 et il tend vers l'infini, avec une densité qui tend vers 0, lorsque le temps tend vers l'infini.

[405] De même, Lemaître utilise l'article de Hubble sur les distances d'un grand nombre de nébuleuses, paru en 1926. Ces données d'observation confortent son hypothèse cosmologique.

[406] (Robertson, 1928)

[407] Eddington. Op. Cit.

[408] (Hubble, 1926)

considering the radical difference in the methods by which they were determined. » . Ceci lui permet une conclusion intéressante, rapprochant l'univers théorique et l'univers observable: « Although space is unlimited the observable world is not, and objects at an appreciable fraction of its radius should show a residual motion of recession; assuming that the known excess of recessional velocity of spiral nebulae is due to this cause, the radius of the observable universe is found to be 2 X 10^{27} cm."

N.G.C.	Vitesse radiale	N.G.C.	Vitesse radiale
221	-300	4151	+980
224	-300	4214	+300
278	+650	4258	+500
404	-25	4382	+500
584	+1800	4449	+200
598	-260	4472	+850
936	+1300	4486	+800
1023	+300	4526	+580
1068	+1120	4565	+1100
2683	+400	4591	+1100
2841	+600	4649	+1090
3031	-30	4736	+290
3034	+290	4826	+150
3115	+600	5005	+900
3368	+940	5055	+450
3379	+780	5194	+270
3489	+600	5195	+240
3521	+730	5236	+500
3623	+800	5866	+650
3627	+650	7331	+500
4111	+800		

Tableau X : Vitesses radiales des nébuleuses[409] mesurées par V. Slipher. Tableau d'après celui présent dans *The Mathematical Theory of Relativity* de A. Eddington[410]. (+ vitesses de récession, - vitesses d'approche).

[409] 31 sont des spirales (parfois irrégulières), 6 des elliptiques, 3 des lenticulaires et une franchement irrégulière.

[410] (Eddington, 1923)

Si les travaux de Slipher sont assez largement connus de la plupart des scientifiques qui s'intéressent à la cosmologie, les travaux théoriques sur la Relativité Générale n'étaient probablement pas connus de Vesto Slipher au moment où il travaille sur les nébuleuses spirales. Il n'y fait jamais allusion, ni dans ses articles, ni dans sa correspondance. Lorsqu'il parle de mouvements de déplacement des nébuleuses par rapport au système solaire, il le fait dans le cadre de la mécanique céleste classique. Sa correspondance conservée à l'observatoire Lowell montre que ses relations épistolaires avec les théoriciens sont tardives : 1921 avec Arthur Eddington, 1925 avec Lemaître, 1928 avec de Sitter. L'explication ne réside pas dans une interruption des communications du fait de la guerre, car les travaux publiés continuent à s'échanger de part et d'autre de l'Atlantique (à l'exception pourtant de ceux des auteurs allemands et, dans une certaine mesure, de ceux des français). Ce silence sur cette importante question est plus probablement lié à des différences de culture et de préoccupations scientifiques qui mériteraient d'être étudiées. Mais il n'est pas le seul. Une recherche bibliographique montre que les tests observationnels de la relativité, comme l'avance du périhélie de Mercure ou la déviation des rayons lumineux des étoiles par le Soleil sont connus et commentés, alors que les relations entre la Relativité générale et les vitesses radiales des spirales sont plus tardivement évoquées par les astronomes. Ce n'est qu'en 1926[411] que Edwin Hubble appliquera des formules simplifiées de la Relativité Générale empruntées à Haas pour estimer la dimension de l'univers observable.

Tableau XI: Quelques dates illustrant les observations et les théories en relation avec les vitesses radiales des nébuleuses, principalement celles de Vesto Slipher.

[411] (Hubble, 1926)

Année	Auteur	Relation	Références
1912	V.M. Slipher	Vitesse radiale de M31	(Slipher, 1913a)
1915	A. Einstein	Relativité Générale	(Einstein, 1915)
1916	V.M. Slipher	Vitesses relatives des nébuleuses par rapport au système solaire (Perrine, 1916)	(Slipher, 1917a)
1916	R.K. Young, W.E. Harper	idem	(Young and Harper, 1916)
1916	O.H. Truman	idem	(Truman, 1916)
1916	G.F. Paddock	idem	(Paddock, 1916)
1917	A. Einstein	Conséquences cosmologiques de la Relativité	(Einstein, 1917)
1917	W. de Sitter	Comparaison de trois « modèles » et test avec les vitesses radiales. L'univers de De Sitter, vide de matière.	(Sitter, 1917)
1922	A. Friedmann	Premier modèle d'Univers en expansion et présence de matière.	(Friedman, 1922)
1922	C. Wirtz	Les nébuleuses spirales en expansion.	(Wirtz, 1922)
1924	K. Lundmark	Apex par rapport aux nébuleuses différent de celui calculé à partir des étoiles.	(Lundmark, 1924a)
1924	L. Silberstein	Courbure de l'espace-temps en utilisant les amas globulaires.	(Silberstein, 1924)
1924	E. Hubble	Distance des nébuleuses spirales	(Hubble, 1925)
1925	G. Strömberg	Absence de courbure de l'espace-temps (avec les amas globulaires). Mesures de l'apex par rapport aux amas et aux nébuleuses.	(Stromberg, 1925)
1925	K. Lundmark	Critique de la méthodologie de Silberstein	(Lundmark, 1925)
1927	G. Lemaître	Une théorie qui rend compte des vitesses radiales des nébuleuses.	(Lemaître, 1927)
1928	H.P. Robertson	Application de la cosmologie relativiste aux vitesses radiales des objets célestes mesurées par Slipher	(Robertson, 1928)
1929	E. Hubble	Relation vitesse radiale-distance	(Hubble, 1929a)

6. Points de vue personnels sur Slipher

Dans cette partie nous tentons de tirer des données dont nous disposons, des éléments qui peuvent mieux faire comprendre sa personnalité ainsi que sa place de scientifique. Nous envisagerons sa stratégie de publication, basée sur des données factuelles précises puis sa personnalité que nous opposerons à celle de Edwin Hubble pour mieux en faire ressortir les caractéristiques et enfin nous tenterons d'aborder le problème plus difficile de sa philosophie scientifique, sachant qu'il ne s'est jamais clairement exprimé sur ce sujet.

6.1. Sur sa stratégie de publications.

On peut distinguer plusieurs périodes dans l'activité de Slipher.

La première, qui va de 1901 à 1913, peut être elle-même divisée en trois parties.

- Au cours de la première année il se consacre à l'installation du matériel et à sa prise en main.
- Puis, de 1902 à 1908 tout son temps est consacré à l'étude des planètes
- À partir de 1909 il s'intéresse aux nébuleuses spirales et réalise ses premières découvertes sur les nébuleuses qui aboutissent aux publications de 1914. Dans cette première période il présente 28 nouveaux travaux en 32 publications (tableau XII).

La période 1914-1925 est la plus féconde sur le plan scientifique avec 40 travaux et 53 publications. Les articles portent essentiellement sur la question des nébuleuses spirales.

Années	Nombres d'articles	Nombre de publications différentes
1902-1913	32	28
1914-1925	53	40
1926-1937	27	26
1938-1944	10	10
Total	122	104

Tableau XII : Publications de Vesto Slipher par tranches de dix ans.

Certains de ses articles ont été publiés simultanément dans deux organes,

ce qui fait que le nombre d'articles publiés est supérieur au nombre de travaux originaux.

La dernière période de sa vie professionnelle sera plus consacrée à l'administration de l'observatoire et le nombre de publications est plus restreint.

Titre des revues	Nombre d'articles
Revues astronomiques	
Astrophysical Journal	15
Astronomical Journal	1
Publication of the American Society of the Pacific	8
Monthly Notices of the Royal Society of London	1
Journal of the Royal Astronomical Society	1
Science	1
Nature	2
Astronomische Nachrichten	3
Lowell Observatory Bulletin (and circular)	35
Publications de colloques	
Publication of the American Astronomical Society	22
American Philosophical Society	3
Popular Astronomy	17
Revues de synthèses	
The Observatory	3
Bulletin de la Société Astronomique de France[412]	1
Scientific American	1
Sciences Monthly	1
Naturwissenshaften	1
Physical Review	5
New York Times	1

Tableau XIII : Organes de publication de Vesto Slipher (ensemble de ses travaux y compris planétaires et stellaires).

Comme scientifique, Slipher travaille beaucoup, accumule des données originales et importantes mais ne les valorise pas assez. En ce qui concerne ses travaux sur les nébuleuses,

[412] Aujourd'hui appelé *l'Astronomie*.

il publie en effet peu et trop rarement dans les revues que nous qualifierions aujourd'hui comme ayant un « impact factor » élevé, tels que l'*Astrophysical Journal*[413], *Science*, *Nature* et les *Publication of the Astronomy of the Pacific* ou encore les *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. De plus beaucoup de ses publications ne sont que de simples « abstracts » de ses présentations aux Congrès auxquels il assiste. Peut être lui manque-t-il aussi la publication d'un ouvrage de synthèse, plus susceptible de marquer sa place dans le concert des travaux sur l'univers extragalactique.

6.2. Sa personnalité comme scientifique.

Nous ne prétendons pas ici tracé un portrait psychologique de Vesto Slipher mais nous cherchons plutôt à éclairer sa façon de se comporter dans son activité professionnelle. Pour mieux illustrer cet aspect nous le comparerons à Edwin Hubble avec lequel il contraste fortement:

Ce dernier sait se mettre en avant au point qu'il n'hésite pas à taire ses sources. C'est ainsi que Henrietta Leavitt découvreuse des Céphéides extragalactiques est à peine citée, non plus que Slipher à propos de la relation vitesse/distance. Une photographie de groupe des assistants au congrès d'Evanston en 1915 (figure 18) illustre parfaitement les différences de personnalité entre les deux hommes. Elle montre Slipher, qui vient d'être acclamé par une « standing ovation », au dernier rang alors que Hubble, encore inconnu se montre au premier rang. Hubble recherche naturellement les meilleurs moyens techniques disponibles pour ses études des nébuleuses, et par exemple il n'hésite pas à quitter l'observatoire Yerkes pour le Mont Wilson. En outre il sait se faire aider afin de ne pas passer trop de temps aux observations. Ainsi avec Humason qui effectuera les mesures de distances et les nouvelles vitesses radiales des nébuleuses. Par ailleurs il publie beaucoup et dans les plus grandes revues. Il sait en outre se rendre indispensable, par exemple au sein de la commission 28 de l'U.A.I. dont il n'est pas membre, en intervenant en 1922 directement auprès de Vesto Slipher, alors qu'il n'est encore qu'un jeune astronome peu connu.

[413] Ses publications dans l'*Astrophysical Journal* ne concernent pas les nébuleuses.

Figure 18: Congrès de Evanston. Slipher est au dernier rang (flèche) et Hubble au premier (à droite).

Cliché de l'observatoire Lowell.

Slipher est tout à fait à l'opposé de la personnalité de Hubble. Il publie peu et rarement dans des grandes revues et ne le fait que très lentement, lorsqu'il est certain de la valeur qu'ont, à ses yeux, ses résultats. Ce trait est illustré par sa difficulté à valider son doctorat. Nous avons vu aussi Campbell le pressant de publier et Lowell lui conseillant de ne pas se dévaloriser. Ses articles sont très factuels. Il ne met pas en valeur ses hypothèses dans ses publications : on les connaît surtout par sa correspondance. Au contraire par exemple, sur le même sujet des rotations de spirales, van Maanen publie dans l'*Astrophysical Journal* à chaque spirale étudiée. Il ne se met jamais en avant, respecte le travail des autres qu'il cite toujours. Par ailleurs, Slipher n'a jamais quitté l'observatoire Lowell, alors que ses travaux sur les nébuleuses lui auraient peut être permis de postuler dans un observatoire mieux équipé. C'est par fidélité à Lowell qu'il reste à Flagstaff, et cela malgré toutes les difficultés qu'il rencontre, notamment les difficultés financières qui l'empêchent d'équiper l'observatoire de télescopes compétitifs. Il faut dire aussi que Slipher a été habitué très tôt dans sa carrière à disposer d'une assez grande liberté qu'il aurait peut être perdue au sein d'un observatoire comme celui du Mont Wilson. Lowell est en effet peu souvent présent à l'observatoire et

Slipher accède assez tôt à la direction de l'observatoire. À l'opposé de Hubble, il réalise lui-même les observations et la réduction des données et assure toutes les tâches administratives de l'observatoire. Slipher communique largement ses résultats aux autres, qui les exploitent (Eddington, Lundmark, Strömberg, Shapley, Hubble), parfois sans le citer, comme Hubble. Lorsqu'on lui confie des responsabilités, il les accepte et travaille alors sérieusement. En témoigne sa présence à l'*Union Astronomique Internationale*, mais il ne recherche pas lui-même ces responsabilités et les honneurs.

Le fait que Lowell soit fondateur et directeur de l'observatoire a-t-il nui à Slipher ? Beaucoup d'historiens pensent que sa notoriété en a été altérée, au premier chef William Hoyt[414] et plus récemment J.S. Tenn[415]. Il est vrai que la personnalité et les publications de Lowell sur Mars étaient mal vues des astronomes de l'époque. Mais pour autant peut-on dire que Slipher en ait souffert ? Rien ne permet de le penser car il a toujours eu la liberté et l'occasion de s'exprimer et nous avons vu que ses travaux étaient appréciés. Si Slipher reste moins connu que Hubble il le doit d'une part à sa personnalité discrète et d'autre part, au contraire, à celle très forte de Hubble. Mais il faut dire aussi que pour les astronomes actuels, le travail de Hubble est le plus achevé : distance des galaxies, relation vitesse-distance sont plus utilisables et utilisées que les travaux préliminaires de Henrietta Leavitt, Slipher, Lundmark et d'autres, pourtant indispensables aux succès de Hubble.

6.3. Philosophie scientifique de Slipher.

Il n'a rien écrit sur ce sujet, au contraire de Hubble qui se présente résolument comme positiviste et disciple de Popper[416].

---

[414] (Hoyt, 1980)

[415] (Tenn, 2005)

[416] Dans l'introduction de « *The realm of nebulae* » il déclare que la science est nécessairement séparée du monde des valeurs, qui sont au contraire du domaine de l'individu. Pour lui, la recherche scientifique passe par des étapes successives bien définies. L'observation collecte des groupes isolés de données accompagnées de la mesure de leur précision. Avec ce mode de recueil, Hubble cherche à obtenir l'assentiment de tout observateur susceptible de refaire les mêmes observations. Il recherche ensuite des relations entre ces données. A partir de ces relations il peut extrapoler des résultats au-delà du cadre précis de ses mesures, puis vérifier par de nouvelles observations si ces extrapolations sont exactes. A partir de là, il élabore de nouvelles lois empiriques qui peuvent constituer, en association avec d'autres travaux, une

L'ensemble des sources, et en particulier la correspondance de Slipher permettent cependant d'analyser son mode de raisonnement scientifique.

Une vision popérienne des travaux de Vesto Slipher consisterait à considérer qu'il part d'une hypothèse, celle des nébuleuses protosolaires (ou stellaires) issues de Laplace puis Chamberlin et Moulton, et qu'ensuite il planifie des observations qui dans un premier temps corroborent ces hypothèses. Ces observations enrichiraient son élaboration hypothétique et lui permettraient de construire sa propre théorie des nébuleuses spirales : elles sont de type spectral solaire, se déplacent à grande vitesse, le plus souvent en récession et sont en rotation.

En réalité, la phase initiale des travaux de Slipher est différente. Il n'élabore pas d'hypothèse sur ces objets mais plutôt, fort de son expérience sur les planètes, veut plus simplement rechercher s'il lui est possible d'utiliser des moyens techniques nouveaux sur ces objets plus difficiles à étudier. Il a validé ces techniques sur les planètes et les étoiles et cherche si elles lui donneront de bons résultats sur les nébuleuses. Il ne sait rien des vitesses de ces objets. Tout au plus peut-il penser que leur vitesse est de l'ordre de celles des objets déjà étudiés, en particulier les étoiles. Néanmoins, dans les débuts de son activité de recherche dédiée aux nébuleuses spirales, Slipher a en tête une hypothèse forte, qui est aussi celle de Lowell : la nébuleuse protosolaire de Laplace revue par Moulton et Chamberlin[417], mais personne ne l'a appliquée réellement aux nébuleuses spirales. Néanmoins toutes ses premières observations semblent corroborer cette hypothèse et les faits discordants, bien qu'évoqués, sont d'abord rejetés. Mais peu après sa démarche va changer. Coïncidence ou pas, ce changement d'attitude semble corrélé avec le décès de Lowell en 1916. En effet, dans son article de synthèse de 1917 « *Nebulae* », Slipher expose son hypothèse évoquant la nature

---

nouvelle théorie. L'ensemble de tout cela est limité par un horizon au-delà duquel se situe la zone des spéculations. Ainsi, Hubble met-il au premier plan les observations, les hypothèses venant ensuite. Il assume ainsi une position inductiviste classique associée au positivisme logique. Il n'évoque nullement ici la question de la falsification selon Popper. Hubble se présente lui-même dans ses mémoires comme un chercheur sans conception précise, uniquement occupé à des mesures. Mais à coté de celle de l'observateur, Hubble dessine la place du chercheur théoricien qui étudie les lois empiriques fournies par les observateurs, cherche une généralisation, un regroupement des relations observées. Son but est d'établir une théorie qui doit expliquer les lois empiriques et prédire de nouvelles relations. Celles-ci devront à leur tour être vérifiées ou réfutées. On trouve ici, sans qu'il ne le nomme précisément, une partie des conceptions de Karl Popper. Ainsi la collaboration entre deux sortes de scientifiques, les observateurs et les théoriciens, est-elle, pour Hubble, indispensable à l'avancée de la Science. En réalité dans le travail de Hubble, la théorie se mêle en permanence à l'observation mais Hubble n'a jamais formalisé d'hypothèse dans un sens fort.

[417] Pour une analyse détaillée de ces hypothèses voir l'annexe 1-4 .

stellaire des nébuleuses spirales dans le cadre des univers-îles. Il le fait en rapprochant les travaux de Campbell, qui montrent un courant d'étoiles en direction de l'apex, avec ses propres travaux préliminaires (avec quinze nébuleuses) qui montrent un déplacement du système solaire par rapport à ces nébuleuses, ce qui lui permet de conclure que ce sont des objets en récession par rapport à la Galaxie mais aussi entre eux..

Il raisonne également beaucoup par analogie : entre les planètes, qu'il connaît bien et les nébuleuses spirales, mais aussi entre la nébuleuse des Pléiades et la spirale de la constellation d'Andromède.

Enfin il pense dans un cadre newtonien. En effet, quand il envisage des causes alternatives à l'effet Doppler pour expliquer le décalage des raies spectrales, il fait appel à la gravitation qui serait susceptible d'entraîner une augmentation de pression et une élévation des températures qui pourraient expliquer les décalages observés. C'est aussi elle qui pourrait être la cause d'une éventuelle expansion des bras de NGC 4594, animée d'une grande vitesse de rotation. Il ignore tout de la théorie de la Relativité, mais il n'est pas seul dans cette situation, comme nous l'avons observé.

Slipher est-il réaliste ? C'est incontestable. Ce qu'il observe ce sont bien, pour lui ; dès lors qu'il a repoussé les hypothèses alternatives, des mouvements réels, qu'il s'agisse des vitesses radiales ou des rotations. Aucun de ses articles ou de ses correspondances ne montre le moindre doute à ce sujet. Edwin Hubble adopte lui aussi le même point de vue comme le fait remarquer Zwicky[418].

Sous un angle sociologique, Slipher apparaît comme un astronome issu d'un certain milieu social plutôt aisé, éduqué, qui travaille dans un observatoire particulier, dirigé par un homme peu ordinaire, Lowell, et immergé dans une collectivité professionnelle. Il utilise une instrumentation sophistiquée et tout cela doit être financé dans le cadre d'une entreprise privée. De ce fait ses travaux sont orientés aussi par des critères extérieurs, par l'intermédiaire de Lowell. Il faut de préférence travailler sur des sujets qui intéressent le public, il est indispensable de faire connaître et de mettre en valeur les résultats des recherches pour soutenir cet intérêt et attirer des sponsors[419]. À l'évidence ce facteur est déterminant et les moyens matériels insuffisants contribueront à limiter les possibilités de Slipher en matière

[418] (Zwicky, 1957)

[419] Après le décès de Lowell, ce sont des membres de la famille de Lowell qui asureront les responsabilités de l'administration de l'observatoire, Slipher assurant la gestion scientifique et technique.

d'astronomie extragalactique, au contraire du mont Wilson dont les moyens financiers conséquents, issus de la Fondation Carnegie, permettent une course victorieuse vers les grands télescopes.

Dans la partie qui va suivre nous allons rechercher quels concepts épistémologiques Slipher utilise pour concevoir et analyser ses informations. Nous présenterons, en forme de synthèse, les différentes hypothèses qu'il propose à l'aide de ces outils conceptuels et des observations qu'il réalise, analyse et critique.

SECONDE PARTIE :OBSERVATIONS, MESURES, IMAGES ET CONCEPTION DE L'OBJET GALAXIE CHEZ SLIPHER.

Penser ou construire l'objet « galaxie » à partir de celui de nébuleuses[420] a nécessité de nombreux ingrédients de nature diverse : observations, images, mesures, mais aussi théories, modèles… Dans cette partie nous allons examiner cette construction, en nous référant à des études théoriques et en tentant de voir en quoi elles éclairent la question que nous nous posons, à savoir l'accouchement d'un concept nouveau, incomplet et imparfait mais plein de promesses : celui de galaxies multiples ou univers-îles. Mais cette émergence s'est réalisée aussi dans un contexte politique, social et culturel particulier, situé dans un temps et un espace qu'il convient de prendre en compte. Ce sera l'objet de la troisième partie que d'analyser les circonstances, au sens général du terme, de l'apparition des galaxies.

Cette histoire des nébuleuses aboutit à une succession de bouleversements. Avec comme point de départ les observations de William Herschel, il apparaît que ce qui change concerne aussi bien l'observation elle-même que son utilisation. La transformation de l'observation porte à la fois sur sa technique mais aussi son objet : il s'agit d'aller au-delà de la forme et de pénétrer dans l'intimité de la nature des nébuleuses. Le second bouleversement tient à la place de plus en plus prépondérante de la mesure avec l'objectif d'atteindre la précision obtenue par les spécialistes de l'astronomie de position et les prédictions de la mécanique céleste. Mais, observations et mesures se font sur un support spécifique, celui des images photographiques des nébuleuses mais surtout de leur spectre. Enfin tout ceci amène Slipher à proposer des modèles de ces objets nouveaux qui prendront bientôt le nom de galaxies.

---

[420] Nous avons vu se dégager le groupe des nébuleuses spirales au sein des nébuleuses au tout début du XXe siècle grâce notamment au puissant télescope de Lord Rosse (2.1.2.). Cependant d'autres nébuleuses sont moins bien identifiées, comme par exemple celles qui deviendront les galaxies elliptiques.

C'est à travers des instruments multiples, intimement associés au processus de la recherche, et à l'aide de théories que Slipher, avec ses qualités et ses défauts, va faire surgir des propriétés nouvelles au sein de ces objets scientifiques. L'objet à étudier est une nébuleuse dont au départ on ne connaît rien que sa forme, une certaine répartition sur la surface du ciel, (mais pas dans sa profondeur) et son absence de mouvement propre. Parmi les différentes nébuleuses, il choisit un objet assez facile à distinguer des autres : le groupe des nébuleuses spirales. Du point de vue de l'observation, sa caractéristique principale est son faible éclat apparent qui rend son étude extrêmement difficile. L'observation à l'œil n'est pratiquement plus utilisée, la photographie l'a totalement remplacée. Dans le cas de Slipher, il s'agit d'une technique d'observation spécifique, celle des spectres des nébuleuses. L'observation des objets eux-mêmes, au sens usuel du terme, a été le domaine de Keeler à Lick qui a constitué le premier catalogue photographique, poursuivi par J. Ducan. À l'aide de ses instruments, Slipher produit des images qui sont ensuite les supports de ses observations et de ses mesures. Nous allons examiner successivement ces différents points sous un angle plus épistémologique

1. Les instruments.

Le premier élément fondamental est matériel : il faut disposer d'instruments adaptés à l'observation envisagée. Nous avons vu en effet les difficultés rencontrées par Slipher et les efforts qu'il déploie pour obtenir des combinaisons optiques adéquates. En même temps qu'il est astronome, comme ses collègues, il doit avoir des capacités d'ingénieur et de technicien. Dans le cas qui nous intéresse, l'appareillage est constitué d'une lunette, et d'un spectroscope qui, couplé à l'appareil photographique forme le spectrographe. Le résultat qui apparaît sous la forme d'une plaque photographique est observé et mesuré avec un microscope de Hartmann.

Les instruments dont dispose Slipher, bien adaptés à l'étude des planètes et des étoiles, ne le satisfont pas lorsqu'il s'agit de réaliser l'étude spectrographique des nébuleuses. Le spectrographe classique est formé de trois prismes. Il a l'avantage de pouvoir bien séparer les raies spectrales mais il est grand consommateur de lumière. Appliqué aux nébuleuses il demande des expositions de plusieurs jours. C'est par l'expérience que Slipher, aidé des conseils de Fath, met au point un spectroscope constitué d'un seul prisme. Mais là encore la

lumière trop faible ne permet pas d'obtenir un bon spectre avec des poses qui ne dépassent pas une nuit d'observation. C'est alors que Slipher à l'idée de concentrer la lumière qui sort du prisme sur une plus petite surface de la plaque. Pour cela il utilise un appareil photographique de très courte focale. Une bonne connaissance de la théorie des instruments est nécessaire à l'observation de Slipher. Cette importance de la théorie de l'instrument qui est aujourd'hui banale, ne l'a cependant pas toujours été. Galilée a pu faire des observations prodigieuses sans connaître la théorie de l'optique. Mais c'est la maîtrise ce celle-ci qui a permis à Slipher de comprendre le rôle de la focale de l'appareil photographique dans l'acquisition des spectres. Le spectre étant très petit, il faut l'examiner au microscope. Heureusement les plaques photographiques, certes peu sensibles, ont un grain très fin qui permet l'agrandissement sans atteindre la limite physique de la taille de ces grains. Cette mise au point, longue d'environ une année, se fait par la succession d'essais et d'erreurs. Slipher doit être à la fois astronome, ingénieur et technicien. Sa correspondance montre que ses interactions avec les fabricants d'instruments d'optique sont incessantes. Ces caractéristiques, d'ailleurs non spécifiques aux astronomes, se retrouvent encore aujourd'hui.

La lumière issue de l'objet, limitée par la fente du spectroscope est transformée par un prisme qui en sépare les longueurs d'ondes. Ces longueurs d'ondes, le spectre, forment une image qui peut être observée directement, à travers un instrument grossissant ou sur une plaque photographique.

Le spectroscope était un appareil *conditionnellement productif* au sens de Heidelberger[421] au moment où il a été utilisé pour la première fois par Newton. En effet, ce type d'instrument produit et analyse un phénomène préexistant, la lumière, qu'il sépare en composants jusque là inconnus au temps de Wollaston et de Newton. Avec les travaux de Kirchoff et Bunsen, le statut de l'instrument change. Il devient un *instrument représentatif*[422]. Ces instruments représentent en effet symboliquement une relation entre deux phénomènes naturels, ici la lumière d'une nébuleuse, décomposée en un spectre et des spectres pris comme référence: ceux de l'étalon fer-vanadium et du Soleil (reflété par une planète). En ce sens, ce dispositif s'apparente à celui d'une balance ou d'un galvanomètre. Ce sont les « information transforming instruments » de Baird ; où la transformation observée sur l'instrument suit un ordre semblable à l'évolution mesurée dans l'objet, comme avec le thermomètre étudié par Mach, dont la hauteur du niveau du mercure suit un cours parallèle à celui de l'état de chaleur du

[421] Voir l'annexe 7: 1.1.2. (Heidelberger, 2003)

[422] Heidelberger. Op. Cit p 11.

corps. Ici le spectre est en relation avec des caractéristiques de l'objet dont il permet l'analyse et la mesure : composition chimique, température, mouvement. Il faut pour cela disposer d'une chaîne de références.

Bien que l'œil humain soit encore le récepteur sensoriel final, c'est un récepteur secondaire, le récepteur primaire est la plaque photographique. Celle-ci est d'ailleurs sensible à des longueurs d'onde différentes de celle de l'œil. Les toutes premières plaques sont peu sensibles dans le rouge mais captent une partie de l'ultraviolet. Peu à peu le matériel s'améliore et on se rappelle que le premier travail de Slipher est de tester, sur les nébuleuses, des plaques plus sensibles à l'extrémité rouge du spectre. Dans ce type d'observation, l'image de l'objet ne conserve pas sa forme : l'image spectrale n'a pas de relation de forme avec celle de la nébuleuse[423]. Il s'agit donc bien d'un type d'observation particulier.

2. Le rôle de l'image dans le domaine de l'astronomie des nébuleuses extragalactiques.

En astronomie, science de l'observation par nécessité, l'image joue un rôle fondamental.

L'intérêt d'études historiques sur les représentations figurées des astronomes a été souligné par K. Hentschel[424]. L'image a joué un rôle déterminant dans le passage des nébuleuses aux galaxies[425]. En 1843, l'astronome britannique, Charles Piazzi-Smyth publie une analyse historique fort bien documentée de l'illustration astronomique[426] avant l'apparition de la photographie. Il s'intéresse en particulier aux représentations dessinées par Herschel et par Lord Rosse. William Herschel, déclare Piazzi-Smyth, regrettait de n'être, de son propre aveu, qu'un piètre dessinateur. Il est vrai que les quelques dessins qu'il nous a transmis sont

---

[423] Aujourd'hui, avec la photographie numérique, il est possible de reconstruire une image de l'objet dans différentes longueurs d'ondes en superposant plusieurs images obtenues en déplaçant la fente sur un des diamètres de l'objet.

[424] (Hentschel, 2000)

[425] Pour avoir une vision générale de l'image en astrophysique on peut consulter la thèse de Francis Massart. Elle est disponible sous forme imprimée : (Massart, 2005)

[426] Ce texte a été reproduit in extenso dans l'ouvrage coordonné par K. Hentschel et A. Wittmann. Op. Cit.:

réellement très schématiques. Au contraire Lord Rosse, travaillait avec un excellent dessinateur. Ses images des nébuleuses et en particulier celles qui exhibaient une forme spirale, ont étonné tous les astronomes. Plus tard les photographies prises par Isaac Roberts contribuent à éveiller l'intérêt de plus d'un astronome pour ces objets, jusqu'alors dédaignés par les professionnels.

Avant d'étudier plus précisément le rôle de l'image dans les travaux de Slipher nous avons réalisé une étude plus générale portant sur la place de l'image dans le cadre particulier des nébuleuses non gazeuses et dans la période pendant laquelle ses propres travaux sont effectués.

2.1. L'image en astronomie des nébuleuses

La présente étude a pour but de faire le point sur les utilisations de l'image dans les publications scientifiques, les ouvrages, à la fois quantitative et qualitative. Pour cela nous avons dépouillé un certain nombre de revues scientifiques, souvent de façon exhaustive mais parfois par sondage lorsque le volume des données potentielles était trop important. Cette présentation a pour objectif de mettre en évidence à la fois les rôles différents des images, les utilisations qui en sont faites par les astronomes et l'évolution des représentations des nébuleuses spirales ; d'où quatre parties : les analyses des différentes illustrations, des fonctions des images, de leur utilisation par les astronomes et enfin de l'évolution des représentations figurées des nébuleuses. Pour ce dernier point nous avons complété notre présentation par une recherche plus systématique des représentations de la nébuleuse spirale Messier 31, la plus étudiée dans cette période.

2.1.1. Les différents types d'images en astronomie des nébuleuses extragalactiques.

Nous empruntons la définition que donne Catherine Allamel-Raffin[427] qui réserve le terme d'image à « toute représentation visuelle bidimensionnelle, supposant pour exister un support matériel », éliminant ainsi les autres formes généralisées d'images sensorielles non visuelles[428]. Nous parlerons brièvement, à propos de Slipher, des images mentales visuelles en raison de leur

[427] (Allamel-Raffin, 2005)
[428] Comme par exemple des représentations issues d'autres perceptions sensorielles.

forte intrication avec les images visuelles physiques pour dire aussi qu'elles sont parfois une représentation visuelle d'une autre sensation ou d'un concept théorique.

2.1.1.1. Étude quantitative.

Cette enquête a porté sur trois supports d'informations différents. L'*Astrophysical Journal* pour les revues, quelques ouvrages de vulgarisation puis le manuel de Young, un des plus utilisé par les étudiants en astronomie.

- L'*Astrophysical Journal*.

Nous avons analysé la totalité de la production des images dans l'*Astrophysical Journal* de 1910 à 1935. Dans chaque numéro nous avons comptabilisé le nombre d'articles et ceux portant sur les nébuleuses, à l'exclusion des planétaires et des gazeuses. Dans les articles sur les nébuleuses spirales ou elliptiques, nous avons ensuite étudié les nombres, les types d'images publiées puis leurs fonctions probables. Lorsque des années ou des numéros ne sont pas présents dans les tableaux c'est qu'ils ne comportent aucun article sur les nébuleuses.

Année	Nombre d'articles	Sur les nébuleuses	Nombre d'illustrations dans les articles sur les nébuleuses
1910	57	1	6
1911	62	2	0
1912	46	0	0
1913	47	1	0
1914	62	0	0
1915	47	0	0
1916	49	1	3
1917	52	3	64
1918	42	0	0
1919	45	1	0
1920	48	1	18
1921	52	2	4
1922	61	3	4
1923	52	3	8
1924	54	0	0
1925	48	4	10
1926	48	3	36
1927	49	1	13
1928	51	0	0
1929	38	1	19
1930	40	1	21
1931	45	2	8
1932	53	1	15
1933	47	1	3
1934	59	2	8
1935	52	5	5
Total	1 315	38 : 2,9%	245 : 6,4 illustrations par article

Tableau XIV: Analyse de l'*Astrophysical Journal*. Le nombre d'articles originaux portant sur les nébuleuses représente moins de 3% des articles.

Le nombre d'illustrations (6,4 par article) est resté stable lorsqu'on l'examine par tranches de 10 ans.

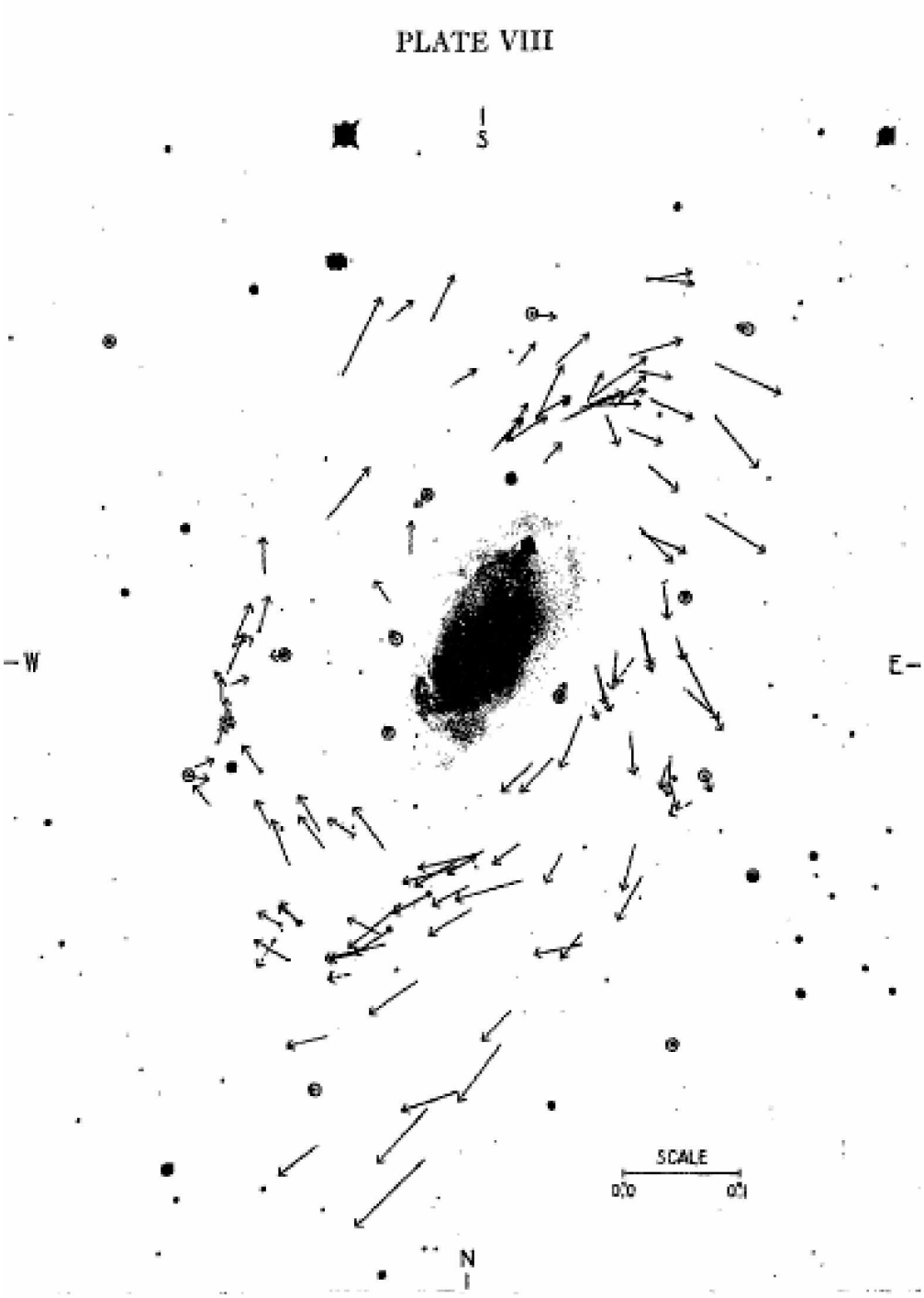
Année	Vol.	Planches	Photos simples	Photos annotée	Courbes et schémas	Cartes	Total
1910	32	0	6		0	0	6
1916	44	1	1	2	0	0	3
1917	46	9	64		0	0	64
1920	51	6	18		0	0	18
1921	54	2	2	2	0	0	4
1922	56	2	2	2	0	0	4
1923	57	5	5	3	0	0	8
1925	62	2	1	1	7	1	10
1926	63	5	15	4	17	0	36
1927	64	3	3		10	0	13
1929	69	6	2	7	9	1	19
1930	71	1	8		13	0	21
1931	73	2	2		6	0	8
1932	76	5	5		9	1	15
1933	77	0	0		3	0	3
1934	79	0	0		6	2	8
1935	82	1	1	1	3	0	5
Total		50	135	22	83	5	245

Tableau XV: Répartition des différentes illustrations en fonction de leur type. Les photos sont rassemblées dans des planches reportées à la fin de l'article. Étude détaillée par numéros de la revue.

Que nous apprend cette analyse ? Avec 6,4 illustrations en moyenne par article, les travaux apparaissent comme richement illustrés. Les photographies, réunies souvent en planches, représentent parfois le motif principal de la publication. C'est le cas par exemple de l'article de Pease[429] qui présente ses photographies réalisées au Mont Wilson avec le télescope de 60 pouces, suivi par Duncan. Il contient 36 photographies en neuf planches accompagnées d'une description de chaque objet dans le corps du texte. C'est le cas de deux autres articles du même type, un en 1920 et un autre en 1930. Ce type de publication devient de plus en plus rare dans l'*Astrophysical Journal* à partir de 1920 : l'intérêt pour les publications simplement descriptives des nébuleuses diminue en effet progressivement.

[429] (Pease, 1917a)

Le tableau XV confirme que les images les plus nombreuses sont les photographies, parfois rassemblées sous formes de planches. D'autre fois c'est la photographie qui a servi à des mesures qui est présentée, comme dans les articles de van Maanen sur les mouvements propres (figure 19). Cette analyse sera complétée plus loin par une étude qualitative des illustrations.



INTERNAL MOTIONS IN MESSIER 81

The arrows indicate the direction and magnitude of the mean annual motions. Their scale (0".1) is indicated on the illustration. The scale of the nebula is 1 mm = 9".3. The comparison stars are inclosed in circles.

Figure 19 : Photographie de Messier 81 surchargée par des flèches qui représentent les déplacements des points repérés sur la nébuleuse et calculés par A. van Maanen.

Viennent ensuite les courbes qui expriment des relations entre plusieurs paramètres, comme par exemple en 1926 dans l'article de synthèse de Hubble[430] intitulé « *extra-galactic nebulae* ». Les cartes et les schémas sont plus rares. On note un seul dessin géométrique du à Hubble dans son article de 1926 cité plus haut (figure 20).

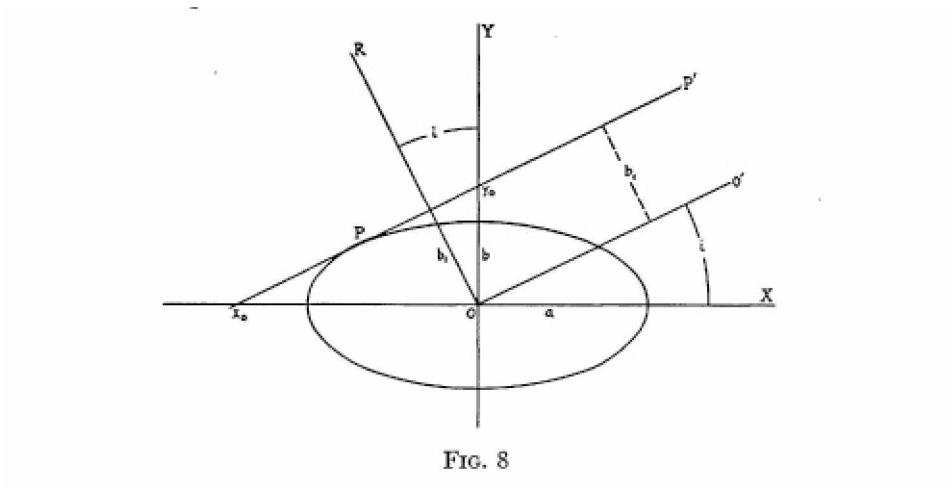


Figure 20 : Dessin géométrique utilisé par Hubble pour montrer le calcul des classes d'ellipticité des nébuleuses elliptiques.

Nous avons complété cette première approche par l'étude de différents ouvrages produits entre 1890 et 1948, que leur cible soit la vulgarisation, l'enseignement, la synthèse destinée aux scientifiques ou des articles originaux.

- Les ouvrages destinés au grand public.

Cette présentation n'est pas exhaustive. Nous avons choisi des ouvrages caractéristiques de la période qui s'étend de 1880 à 1948. Ils sont toujours abondamment illustrés.

En France, Camille Flammarion[431], dans son ouvrage de 1880, « *L'Astronomie Populaire* » présente 358 figures numérotées auxquelles il faut ajouter soixante-seize dessins non numérotés, le plus souvent hors-texte dans un livre de 836 pages. Ce sont tous des dessins, parfois tirés de photographies ou bien des fac-similés dans le cas des reproductions historiques. Trente-deux fois les illustrations ont une visée poétique, voire lyrique, tels ces paysages imaginés des planètes du système solaire. Vingt-neuf sont des fac-similés

[430] (Hubble, 1926)

[431] (Flammarion, 1880)

historiques. Il présente vingt-quatre cartes du ciel dont une hors-texte de grand format. Le reste des illustrations a un rapport direct avec le texte. Il s'agit pour moitié d'images des objets célestes (une seule représente une nébuleuse spirale) et pour l'autre moitié de schémas explicatifs de phénomènes physiques ou astronomiques (jour-nuit, éclipses…). Dans l'ensemble, le choix de privilégier les illustrations scientifiques témoigne d'une volonté de présenter cet ouvrage de vulgarisation comme sérieux, faisant appel au raisonnement et permettant d'acquérir des connaissances comme en témoigne la dernière phrase de l'ouvrage « … n'ayons désormais qu'une seule et même devise : LE PROGRES PAR LA SCIENCE ! ».

L'ouvrage d'Amédée Guillemin[432] , qui porte spécifiquement sur les nébuleuses est publié dans le cadre d'un projet de « *Petite encyclopédie populaire* » en 1889. Il comporte 66 figures pour 204 pages. Elles sont reproduites par la technique de la gravure sur bois, ce qui fait que la symbolique des valeurs de teintes (en noir et blanc) est inversée. Les dessins sont empruntés à plusieurs auteurs, et ceux de John Herschel, au nombre de 28 et de Lord Rosse (13) dominent. Soixante sont des dessins représentant les objets célestes et six des schémas ou encore des courbes de la répartition spatiale de ces objets.

En 1948, la librairie Larousse fait paraître un nouvel ouvrage destiné au grand public : « *Astronomie : les astres et l'univers* »[433]. Il est coordonné par Rudaux et De Vaucouleurs. Il comporte 866 gravures et 12 hors-texte en couleurs sur un total de 486 pages. Ces illustrations sont ici beaucoup plus destinées à illustrer le texte pour en confirmer ou préciser la signification. Les légendes sont précises. Le parti pris éducatif est très apparent avec un grand nombre de dessins, courbes et figures schématiques.

Enfin, en 1944, aux U.S.A., celui de Harlow Shapley[434], appelé « *Galaxies* », destiné à un public plus averti, contient 127 figures pour 229 pages. À l'exception des figures destinées au paragraphe historique, les représentations des objets sont maintenant des photographies, toutes en noir et blanc. Cinquante-trois sont des photographies d'objets astronomiques, trente-neuf des schémas ou des courbes, vingt-deux sont des portraits et treize des photographies d'observatoires ou de télescopes. La plupart des images des objets astronomiques sont des exemples destinés à illustrer leur présentation dans le texte. Mais d'autres images sont accompagnées d'un commentaire plus explicite, comme dans le cas de la photographie de Messier 83 qui « … is convincing in its spectacular evidence that the universe is not static…".

---

[432] (Guillemin, 1889)

[433] (Rudaux and De Vaucouleurs, 1948)

[434] (Shapley, 1944)

La comparaison des légendes et descriptions du même objet, Messier 81 dans la constellation Ursa Major, est intéressante. Pour Guillemin : « Le centre est comme une large nébuleuse globulaire, à condensation très marquée, de laquelle partent des branches déliées en forme de spires. En plusieurs points de ces branches, on peut remarquer d'autres centres de condensation ». Dans l'ouvrage de Shapley, l'image n'a guère qu'une fonction esthétique. La légende est plus sobre et ne concerne que peu l'aspect de l'objet : « Another bright and beautiful neighboring galaxy, Messier 81-more than a million light-years distant and not within local familiy". La figure n'est en outre pas appelée dans le texte.

- Les ouvrages pour les étudiants.

Notre choix s'est porté sur deux ouvrages. Le premier, celui de Young est resté, à travers plusieurs éditions successives, la référence en matière d'enseignement de l'astronomie, à la fois aux U.S.A. mais aussi en Europe. Il est cité dans les journaux anglais et allemands. Le second, celui de Turner, un anglais, rassemble dans un volume une série de conférences données à la *Royal Astronomical Society de Londres*.

L'ouvrage de Young (édition de 1904)[435] contient 630 pages. Les illustrations, au nombre de 264 se répartissent en figures géométriques : 79, schémas : 118, images d'objets célestes : 38, représentations d'instruments : 26 et trois cartes. La présence plus importante des schémas et des figures géométriques est bien une caractéristique de ce genre d'ouvrages. En outre les objets célestes ne sont présentés que pour illustrer et surtout comprendre leur description donnée dans le texte. Leur aspect esthétique compte moins que leur valeur scientifique ou pédagogique, et d'ailleurs leur qualité est loin d'être optimale.

L'ouvrage de H.H. Turner[436], professeur à Oxford, paraît en 1901. Comprenant 286 pages dans une typographie très aérée, il est illustré de trente images. Trois d'entre elles concernent les nébuleuses spirales. Il fait voisiner le dessin de Trouvelot et la photographie de la Nébuleuse d'Andromède avec un commentaire sur la différence entre observation à l'œil nu et photographie (figure 21) : « … the present example is intended to show how much photography has taught us about an old well-known nebula-that of Andromeda… But the drawings, even of the best observers, left us in ignorance of an essential feature of the object, which was revealed directly (Herschel, 1818) it was photographed… ". Pour lui, la photographie est un outil de recherche et dans ce cas particulier elle a permis de voir que les bandes sombres n'étaient pas linéaires comme l'avait figuré le

[435] (Young, 1898)

[436] (Turner, 1901)

dessinateur mais courbe. Et Turner interprète cette bande sombre comme une interruption entre le corps central de la nébuleuse et un anneau. Pour illustrer son point de vue, il insère dans la planche un dessin de Saturne, où cet aspect est bien représenté. Cette ressemblance permet à Turner d'affirmer son hypothèse de nébuleuse protostellaire : « … we see here actually in the sky the state of things which Laplace suggested in his famous Nebular Hypothesis-a central nebula, which in its rotation throws off a series of rings, some of which break up to form satellites." Les deux autres formations plus petites (connus aujourd'hui comme des galaxies) sont considérées comme des satellites déjà formés.

Cet exemple montre bien l'utilisation qui peut être faite des illustrations pour conforter une hypothèse. Vesto Slipher, dans un premier temps soutiendra cette interprétation pour ensuite développer une autre hypothèse : celle de la nature spirale et qui lui permettra de l''orienter par rapport à l'observateur.

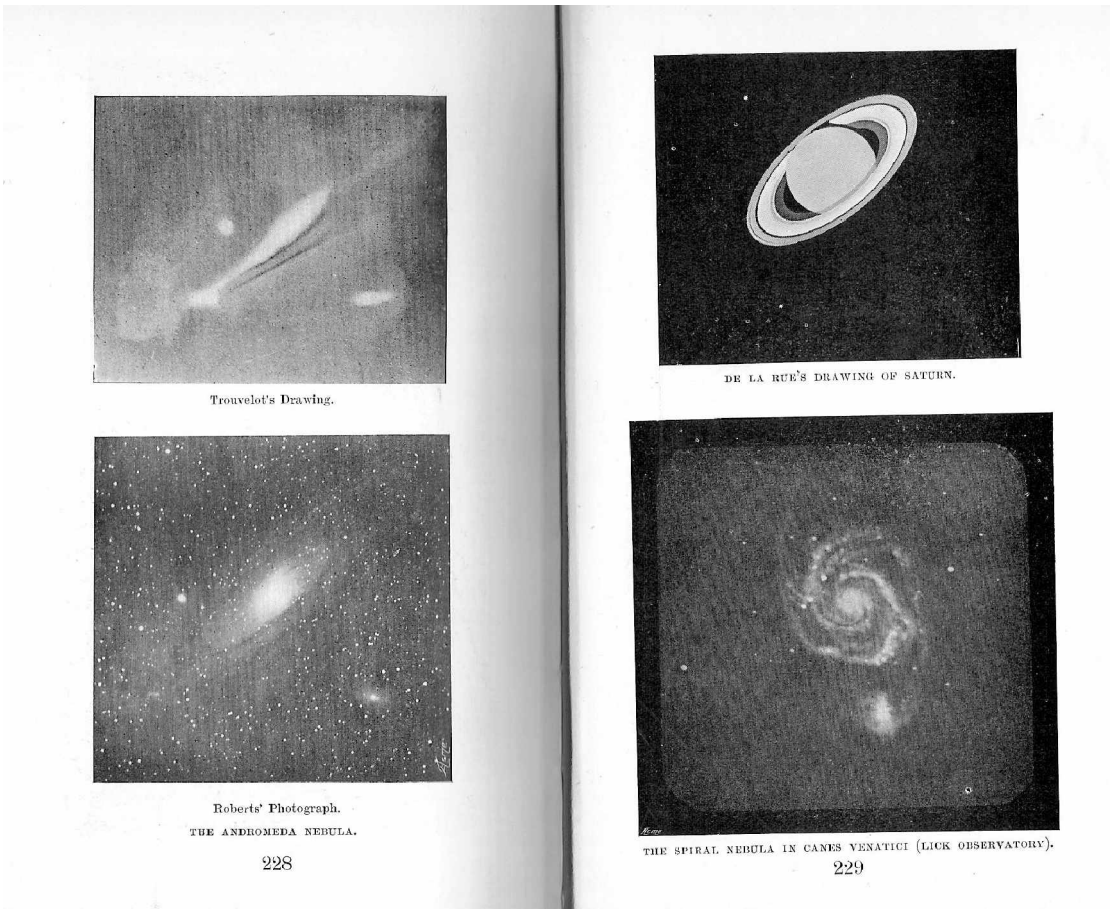


Figure 21 : Dessins et photographies présentés par Turner pour illustrer sa conception sur la Nébuleuse d'Andromède.

On voit donc apparaître dans cette analyse quantitative des aspects caractéristiques sous forme d'une répartition différente des illustrations. Les photographies, ou les dessins dans les ouvrages les plus anciens, sont présents dans les trois types de publications. Les schémas et les courbes sont très fréquents dans les ouvrages de Flammarion, dans celui de Young et dans les articles de l'*Astrophysical Journal*, traduisant un parti pris pédagogique très marqué de l'ouvrage de vulgarisation de Flammarion.

Pour les articles ou chapitres de livres spécifiquement consacrés aux nébuleuses, on peut noter la prédominance des schémas et courbes dans les publications de l '*Astrophysical Journal* et dans le livre de Shapley qui est certes un ouvrage destiné au public mais plus éclairé que celui que ciblent les ouvrages de Guillemin ou de Rudaux.

Type d'ouvrage	**Photographies ou dessins**	**Schémas ou courbes**	**Cartes**	**Autres**	**Nombre total**
Astrophysical Journal	91 : 54%	72 : 43%	5 : 3%	0	168
Flammarion	*141 : 39%*	*132 : 37%*	*24 : 7%*	*61 : 17%*	*358*
Guillemin	58 : 88%	5 : 8%	3 : 4%	0	66
Rudaux	48 : 87%	7 : 13%	0	0	55
Shapley	82 : 65%	35 : 28%	6 : 5%	3 : 2%	126
Young	*64: 24%*	*197: 75%*	*3: 1%*	*0*	*264*
Turner	*23: 77%*	*7: 23%*	*0*	*0*	*30*

Tableau 16: Répartition des différents types d'illustrations. Les ouvrages de Flammarion, Young et Turner doivent être considérés à part avec respectivement une, une et trois illustrations de nébuleuse spirale. Pour l'ouvrage de Rudaux et al. nous n'avons comptabilisé ici que les images du chapitre sur les nébuleuses extragalactiques.

Nous allons, dans la partie suivante, aborder une étude centrée sur le contenu des illustrations pour essayer de déterminer plus précisément les intentions des auteurs et des éditeurs dans leur choix des illustrations.

2.1.1.2. Aspects qualitatifs.

Nous séparons ici les images en plusieurs catégories : les photographies, les schémas, courbes et diagrammes, les spectres et enfin les cartes du ciel. Par ailleurs nous étudierons aussi les liens entre les images, leur légende et le texte proprement dit.

- Les photographies

Leurs aspects ne différent pas selon qu'elles sont présentées dans un article scientifique, un ouvrage pour étudiant ou un livre de vulgarisation. Nous faisons ici l'hypothèse que la répartition des différents objets représentés différent en fonction des intentions de ceux qui les publient. Les photographies peuvent figurer les objets astronomiques mais aussi les astronomes, les observatoires et les matériels ou encore des spectres.

- **Les objets astronomiques eux-mêmes :**

Les images sont issues d'une instrumentation complexe : télescope, appareil photographique et plaque sensible. Le récepteur reste l'œil humain, mais c'est un récepteur secondaire[437]. On peut distinguer deux types d'observations qui aboutissent à la production d'une photographie. Dans le cas le plus courant, l'objet présent sur la photographie se présente sous une forme semblable à celle obtenue par la simple observation à l'œil nu. Au contraire, dans le cas des spectres, l'image est de nature tout à fait différente et n'a pas de rapport direct avec la forme de l'objet examiné. Pour accepter la seconde image, il faut plus qu'une simple approche intuitive, il faut une véritable connaissance théorique de l'instrument qui produit ces images.

Le plus souvent la photographie est, en apparence du moins, non modifiée. Cependant il faut se rappeler que la photographie est le résultat d'un ensemble de processus qui rend improbable l'appellation de cliché brut. Si les plaques peuvent être sensibles aux mêmes longueurs d'onde que l'œil (orthochromatiques), leur sensibilité peut aussi se limiter à une partie seulement du spectre ou au contraire s'étendre au-delà du spectre visible. En fonction de la sensibilité du film, certaines parties de la nébuleuse seront visibles ou pas. C'est ce que

[437] Voir à ce propos les typologies des instruments astronomiques en annexe 7, paragraphe 1.1.3.

souligne H. Shapley, à propos d'une photographie de la nébuleuse d'Orion[438] qui ressemble aux dessins des premiers observateurs mais qui, photographiée avec une pellicule sensible au bleu, donne une image tout à fait différente. D'autres paramètres peuvent aussi intervenir comme le développement et les conditions atmosphériques[439]. Enfin l'image imprimée peut être le négatif lui-même ou une image positive. L'impression sensible, la visibilité des détails, ne seront pas les mêmes dans les deux cas. Les négatifs sont souvent utilisés lorsque l'image de la nébuleuse est annotée (figure 19).

La photographie peut être délibérément modifiée (retraitée). Au cours du développement, certaines parties peuvent être rehaussées : rehaussements de contraste, de luminosité. Si avec l'imagerie numérique les possibilités de traitement se sont considérablement développées, les astronomes utilisent déjà, au début du XXe siècle, toutes les possibilités des artifices permis par les techniques de développement pour améliorer leurs photographies. Ces images sont alors « construites » avec un but précis qui est de donner à voir des détails que l'observateur juge nécessaires dans le déroulement de son raisonnement scientifique. Mais en introduisant sa subjectivité propre, il ôte à la photographie ce qui faisait d'elle un élément de preuve plus objectif que le dessin.

L'objet peut être :

- Isolé sur une planche hors-texte, en pleine page. Cette présentation permet la mise en évidence à la fois de la qualité esthétique de la photographie mais elle permet aussi de visualiser des détails plus fins. Van Maanen utilise cette technique pour montrer le mouvement des points nébuleux à l'aide de flèches surchargeant le cliché négatif de la nébuleuse (figure 19).

- Regroupé avec d'autres, dans un but de comparaison ou de classification, comme le fait Hubble dans son article sur la classification des nébuleuses extragalactiques[440].

C'est parfois un choix éditorial, comme dans l'*Astrophysical Journal,* que de placer les photographies sous forme de planches hors-texte en fin d'article.

---

[438] Op. Cit. p 91, figure 54.

[439] (Alspector-Kelly, 2004)

[440] (Hubble, 1927)

- L'image peut être simple ou surchargée de symboles, de flèches, de légendes pour attirer l'attention sur un point particulier. Ce cas est fréquent dans l'*Astrophysical Journal* et dans l'ouvrage de Shapley.

- **Les personnages** ne sont, dans notre petit échantillon, présents que dans les ouvrages de vulgarisation. Ils prennent la forme de portraits, de photographies de groupe (équipe ou congrès) ou encore d'astronome au travail.

- **Les observatoires**. C'est le caractère illustratif et esthétique qui est parfois mis en avant (Mont Wilson sous la neige, rotation du ciel nocturne autour d'une coupole) ou plus neutre, image destinée simplement à informer le lecteur sur l'importance et la nature des bâtiments. Ces illustrations ne sont retrouvées que dans le livre de Harlow Shapley.

- **Les instruments** sont présentés de façons différentes. Ils peuvent être photographiés dans leur contexte, comme par exemple un spectroscope attaché au télescope. L'information apportée est ici limitée. Parfois ce sont les différentes parties composant l'instrument qui sont photographiées dans un but descriptif. Le dessin schématique de tout ou partie de l'instrument est souvent destiné à expliquer son fonctionnement.

Ouvrages	Nébuleuses		Personnages	Observatoires	Instruments	Spectres
	Simple	Annoté				
Astrophysical Journal	135	22	0	0	1	1
Guillemin	57	0	0	0	1	0
Rudaux	35	3	0	0	0	2
Shapley	42	11	22	8	5	0

Tableau 17: Sujets des photographies présentées dans les différents supports (dans l'ouvrage de Rudaux et al. seul le chapitre sur les galaxies a été pris en compte).

- Schéma, courbes et diagrammes.

Parmi les autres figures on distingue:

- Les figures géométriques qui sont destinées à une démonstration mathématique classique. Elles sont très fréquentes dans les ouvrages destinés aux étudiants comme celui de Young.

- Les schémas explicatifs, par exemple ceux qui définissent la parallaxe, les orbites, la réfraction…

- Les courbes et diagrammes sous toutes leurs formes, destinés à représenter des données numériques : relation période-luminosité des étoiles variables, courbe de la relation distance-vitesse radiale des nébuleuses spirales. Ces dernières sont fréquentes dans les articles scientifiques : 79 sur 83 schémas et figures dans l'*Astrophysical Journal* et 32% de toutes les illustrations.

- Les spectres

Ils sont assez peu représentés. Ils sont en réalité de très petite taille et doivent être agrandis. Ils sont surtout destinés à convaincre le lecteur de la qualité des photographies obtenues et des possibilités qu'ils offrent à la mesure. Cependant aucune mesure ne peut être reproduite à partir du spectre publié car la qualité des reproductions ne le permet pas. Les astronomes s'échangent directement les plaques photographiques.

SPECTRUM HUBBLE'S VARIABLE NEBULA = *N. G. C.* 2261
COMPARISON *V-Fe*. SPECTRUM OF *Nova Aurigæ* INSERTED ABOVE

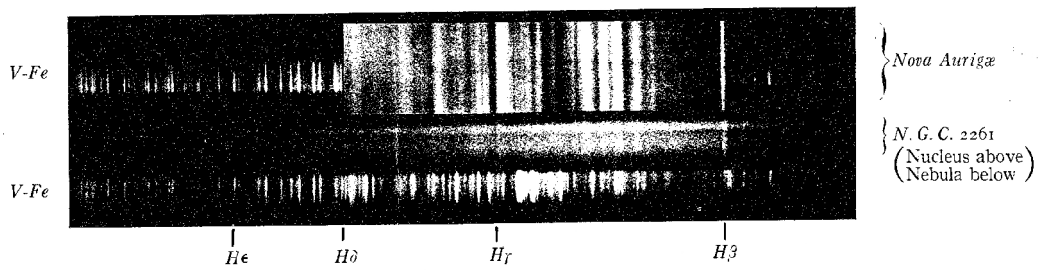


Figure 22 : Spectre de N.G.C. 2261 et de Nova Auriga (en haut). Le spectre de référence est en bas[441].

- Les cartes du ciel

Elles ont joué un rôle considérable dans la question des nébuleuses extragalactiques. En effet le premier sens de cette dénomination « *extragalactique* » vient de leur distance à la bande lumineuse qui est appelée Voie Lactée. Elle a donné lieu aux notions de zone d'évitement[442] et à celle de la répulsion des nébuleuses par la Voie Lactée, nées des études de recensement des nébuleuses et de leurs positions sur la sphère céleste. On dispose pour cette question de nombreuses illustrations différentes.

Nous n'avons pas reproduit la carte de John Herschel de 1847 car elle porte les positions à la fois des nébuleuses spirales et des amas stellaires[443]. En raison de cette absence de séparation des deux types de nébuleuses, la carte ne fait pas apparaître de zone d'évitement puisque les amas stellaires sont présents au voisinage et dans la Voie Lactée.

Les dessins ci-dessous, dus à Proctor, datant de 1869, montrent la « zone d'évitement ». Il met en évidence la rareté des nébuleuses dans et à proximité de la Voie Lactée.[444] L'objectif de Proctor est clairement affiché: « My object was to discover, if possible, whether any knowledge can be discovered associating the nebular and sidereal systems together." Au contraire, il met en évidence des condensations de nébuleuses[445]. Il s'agit bien de distinguer

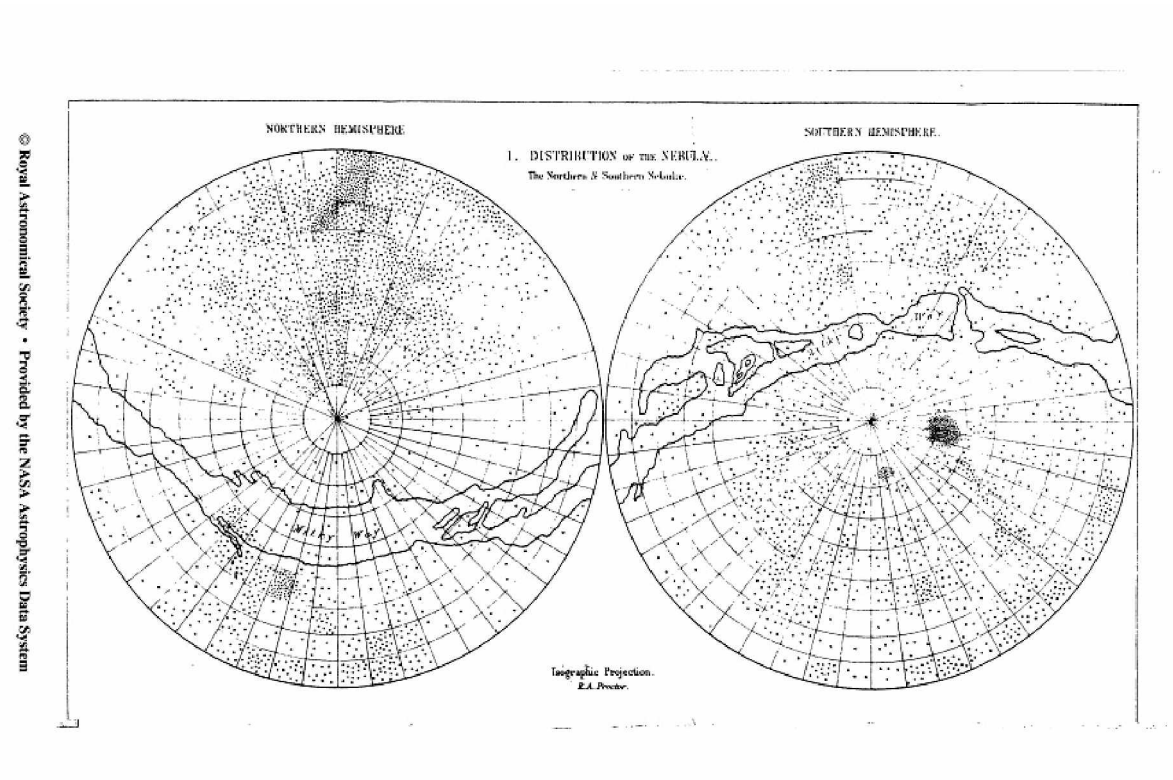
[441] (Slipher, 1918)

[442] Le pemier à en parler est Cleveland Abbe en 1867. Pour les détails de cette question voir Annexes 3 paragraphe 3.

[443] Alors que John Herschel, comme son père William, distinguait bien différentes classes de nébuleuses dont les amas stellaires bien résolus.

[444] (Proctor, 1869)

[445] Pour plus de détails sur la zone d'évitement et l'absorption voir annexe 5 .



© Royal Astronomical Society • Provided by the NASA Astrophysics Data System

Figure 23: Les nébuleuses du nord et du sud. Dessin issu de la publication de Proctor.

- Les légendes des figures

La légende est parfois complète, permettant au lecteur de comprendre le message véhiculé par l'image, sans qu'il soit nécessaire de recourir au corps du texte. Dans d'autres cas la légende est peu explicite mais le texte y fait référence et explique l'image qui complète le texte. C'est en général ce type de légende que l'on retrouve dans les images destinées aux scientifiques ou aux étudiants. La légende est parfois seulement indicative de sa nature : une nébuleuse spirale, complétée parfois du nom de son auteur. L'image n'est pas toujours référencée dans le texte. Il en est souvent ainsi des images d'observatoires, des portraits mais aussi, assez souvent, des objets astronomiques eux-mêmes présentés dans un but simplement illustratif.

- Les techniques de reproduction

Le dessin occupe jusqu'au début du XXe siècle une place prépondérante. Il est rapidement supplanté par la photographie dans les articles. Dans les ouvrages, au contraire, il reste très présent dans la première dizaine d'année de ce même siècle. Ultérieurement, il persiste principalement pour les courbes et les représentations schématiques. Il faut signaler cependant

la persistance de ce qu'il convient d'appeler les « vues d'artiste » effectuée lorsque des données non visuelles peuvent suggérer une représentation visuelle. C'est ainsi qu'aujourd'hui on représente parfois les planètes extra-solaires non observables directement.

Les gravures sur bois sont utilisées dans l'ouvrage intitulé «*Les nébuleuses* » de Amédée Guillemin en 1889. La gravure sur cuivre les remplace dans les autres ouvrages. L'image peut être « positive », mais parfois les valeurs peuvent être inversées, l'objet apparaît alors en noir sur fond blanc[446].

La photographie pose des problèmes de reproduction et de diffusion large. Nous avons vu cependant que cela n'empêche pas les astronomes de s'échanger des plaques, soit pour illustrer leurs conférences ou leurs ouvrages, soit pour les utiliser dans des mesures comparatives. Une note de W.H.S. Monck[447] illustre les difficultés rencontrées. Après avoir abordé les interprétations de divers observateurs à propos de photos de Isaac Roberts, il se plaint de ne pouvoir en disposer pour des études attentives : 'I should like to see whether a count of the stars would clear up the problem, but I have not the photograph here. « et plus loin il espère que les choses s'amélioreront *:* « I write in the hope of making these photographs more available for observers generally than they are at present." En effet les reproductions sont rares et de qualité insuffisante et il faut d'ordinaire faire entièrement confiance aux descriptions des observateurs.

2.1.2. Quels sont les fonctions de ces représentations visuelles ?

D'une façon générale, l'image fait partie de l'ensemble des signes utilisés en communication. C. Allamel-Raffin définit ainsi l'image : « …une représentation visuelle analogique ou symbolique mise à la place d'une autre chose pour l'esprit du scientifique. »

Dans cette partie nous nous intéresserons principalement aux images des objets astronomiques. En effet les schémas et les courbes ont une fonction explicative qui ne suscite que peu de discussion.

Les images peuvent être destinées à rendre visible ce qui ne l'est pas. Cette invisibilité peut être due à la faible luminosité de l'objet ou à une émission dans des longueurs d'onde

[446] Piazzi-Smyth (Op. Cit. n°471) a donné une description précise des techniques du dessin astronomique.

[447] (Monck, 1890)

que l'œil ne perçoit pas. Lorsque que le faible éclat de l'objet est insuffisant pour donner un signal rétinien, la photographie par son pouvoir additif permet de le visualiser en accumulant les photons, grâce à un long temps de pose. La photographie et l'instrumentation peuvent rendre visible des longueurs d'ondes inaccessibles à l'œil humain.

L'image peut aussi rendre lisible ce qui, dans un premier temps, n'est que visible, en permettant au lecteur de construire du sens à partir de l'association de l'image et du texte. L'image peut encore expliquer, et avec la modélisation permettre la prédiction.

Dans la question historique des nébuleuses, trois types d'images nous semblent mériter une attention particulière : les illustrations destinées à captiver le public, celles qui ont un but descriptif et celles destinées à suggérer de nouvelles hypothèses ; d'où trois fonctions : illustrative, descriptive, et interprétative.

Années	Illustrative	Descriptive	Interprétative
1910	2	0	0
1916	0	0	1
1917	0	39	0
1920	0	12	0
1921	0	0	2
1922	0	0	2
1923	0	0	2
1925	1	0	9
1926	0	3	22
1929	1	0	15
1930	0	0	20
1931	2	0	6
1932	0	0	14
1933	0	0	3
1934	0	0	8
1935	0	0	4
Total	6	54	108

Tableau XVIII: Fonctions (estimées par nous) des différentes images de ou sur les nébuleuses publiées dans l'*Astrophysical Journal*. La plupart des images interprétatives sont présentes dans les articles de E. Hubble.

2.1.2.1. L'image illustrative

Les auteurs utilisent ici, comme le souligne Francis Massart[448], sa fonction émotionnelle (il parle d'image sensitive). C'est donc tout naturellement qu'elle accompagne aussi bien les ouvrages de vulgarisation que ceux destinés aux élèves ou aux étudiants. Il est indéniable que

[448] Op. Cit. p 50.

les images des galaxies ont fait rêver et continuent à le faire aujourd'hui. C'est ainsi que de nos jours, des images sont produites, par exemple par le *Hubble Space Telescope*, dans l'unique but de présenter au public les « images merveilleuses » de l'espace. Beaucoup d'observatoires consacrent aussi une part de leur précieux temps de télescope à la confection de telles images pour le public. Cette préoccupation n'est pas nouvelle. Les journaux, comme le *New York Times* que nous avons étudié, publient dès le début du XXe siècle ce type d'images. Rappelons aussi les expositions que Percival Lowell organisait à Boston pour faire la promotion de son observatoire. Ces images, comme celles d'astronomes au travail, ou même de beaucoup de photographies d'observatoires ou de grands télescopes, sont plus destinées à véhiculer la vision que les astronomes veulent donner de leur discipline, que d'informer sur le réel travail de recherche du scientifique.

Ces images illustratives sont souvent aussi présentes, surtout dans le début de la période, dans les ouvrages et les articles destinés aux astronomes eux-mêmes. À cette période et dans ces supports, l'image est traitée comme un objet scientifique ; elle a encore besoin de « faire ses preuves ». Elle est commentée et discutée par la communauté astronomique. Mais elle est encore utilisée dans cette fonction plus près de nous, notamment dans l'*Astrophysical Journal*[449], dans certains articles originaux.

2.1.2.2. L'image descriptive

D'abord utilisées comme illustration pour compléter les codes fort complexes qui servent à les décrire, les images descriptives font partie des catalogues dressés par Messier, par Herschel puis par Lord Rosse. Avec James Keeler, à Lick, les photographies deviennent le support privilégié des catalogues. Voici à titre d'exemple la description du même objet tel qu'il apparaît en texte dans le catalogue N.G.C. et sa photographie par Roberts. La comparaison plaide sans contexte en faveur de l'image, pour la représentation que peut se faire le lecteur de l'objet. L'image mentale suggérée par la description textuelle n'a, en effet, pas le pouvoir d'évocation de la photographie. Cependant les commentaires et la nomenclature restent importants pour focaliser l'attention du lecteur sur les différentes parties de l'objet tels qu'ils sont mis en évidence par l'image.

[449] F. Massard Op. Cit. p 51 et suivantes.

Description de la Grande nébuleuse d'Andromède (Messier 31, NGC 224) dans le catalogue N.G.C. de Dreyer[450] :

!!!eeB, eL, vm, E

Ce qui veut dire: a magnificent or otherwise interesting object (!!!), most extremely (ee) bright (B), extremely (e) large (L), very (v) much (m) extended (E).

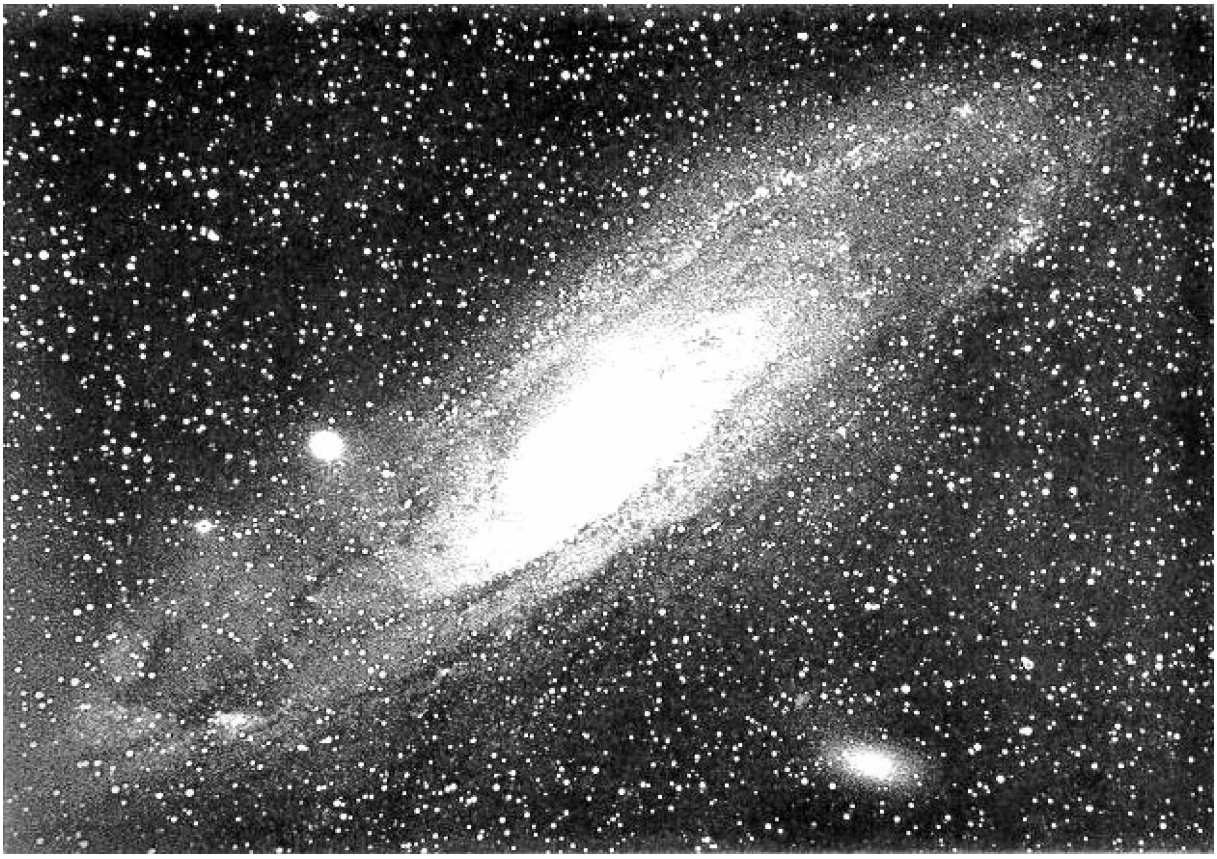


Figure 24: Photographie de la Grande Nébuleuse d'Andromède prise par Roberts.

Autre exemple Messier 51 (NGC 5194-95) :

NGC 5194 : !!!, Great Spiral neb

Qui veut dire simplement : « a magnificent or otherwise interesting (!!!) Great Spiral nebula."

NGC 5195: B, pS, lE, vgbM, inv in M 51

Ce qui signifie: Bright (B), pretty small (ps) little Extended (lE) very gradually brighter in the middle (vgbM), involved in M51.

[450] Description largement empruntée par Dreyer à John Herschel.

Et voici le dessin de Lord Rosse et la photographie actuelle :

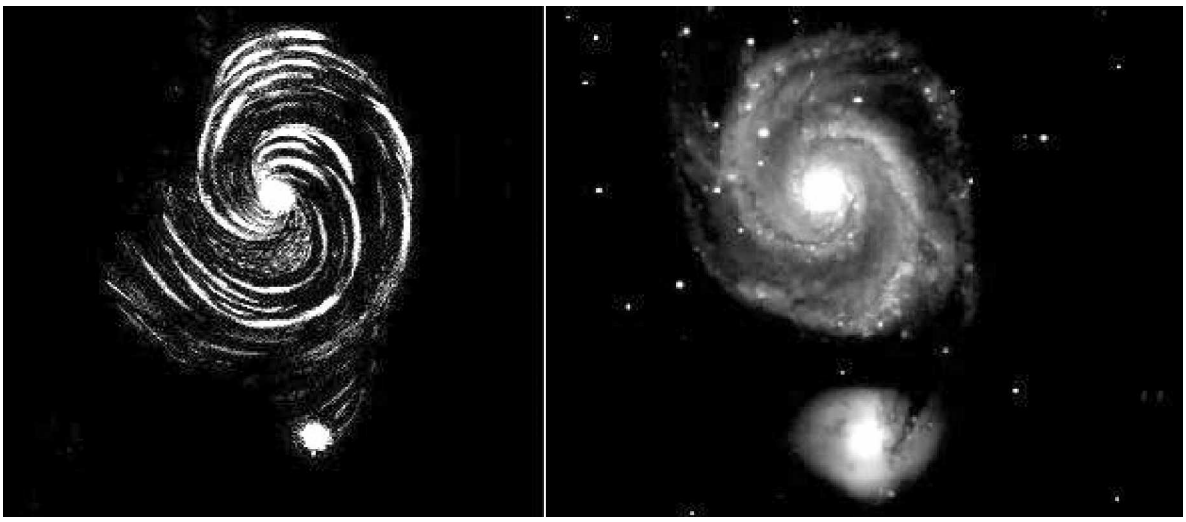


Figure 25 NGC 5194 est la spirale la plus grosse et NGC 5195, la petite spirale située à la partie inférieure de la figure et reliée à la précédente par un bras.

2.1.2.3. L'image interprétative.

L'interprétation des images est une occupation scientifique ; les astronomes ont consacré une partie de leur temps à cette tâche. C'est ainsi que Lundmark en 1921[451] cherche à interpréter les images des nébuleuses spirales et en donne une description interprétative. Parlant des bandes sombres présentes dans les spirales, il les décrit ainsi: « there are whorls of dark matter between whorls of nebular matter and much pictorial evidence is in favor of this idea…" Pour les points plus brillants observés dans les bras spiraux il parle de « *star-like objects* » tout en précisant qu'un grand nombre d'entre eux, dont les contours semblent adoucis, doivent être plutôt appelés « *nebulous stars* ». Il pourrait s'agir d'étoiles plus ou moins masquées par un fond de nébulosité. Il observe qu'il pourrait s'agir également d'amas d'étoiles non résolues[452]. On voit ainsi qu'avec une simple image, un astronome très orienté sur la mesure et les calculs comme l'était Lundmark, consacre des efforts à leur analyse morphologique avec une orientation interprétative.

---

[451] (Lundmark, 1921)

[452] Analogie avec les amas globulaires qui, avec un télescope peu ouvert apparaissent nébuleux. Ce fut souvent la description qu'en fit William Herschel.

Nous avons vu aussi le rôle joué par l'analyse de ces images par Slipher et Lindblad et la controverse qui s'en est suivie.

Ces images, par leur finesse et leur précision, suggèrent des hypothèses quant à la nature propre de ces objets. En premier lieu, l'accumulation de nombreuses images des nébuleuses va faciliter la naissance des classifications. Avant la photographie et son utilisation par Hubble, les classifications sont complexes[453]. C'est l'imagerie riche et de qualité, dont dispose Hubble au Mont Wilson, qui va lui permettre d'ordonner les différentes nébuleuses extragalactiques en un ensemble cohérent encore utilisé de nos jours. En outre, ces images et leur classement suggèrent à Hubble l'hypothèse d'une évolution d'un type de galaxie à une autre et, malgré le caractère erroné de cette hypothèse, les astronomes continuent à parler de galaxies précoces et de galaxies tardives en se référant à Hubble. Nous avons vu également que ces photographies de nébuleuses spirales avaient suggéré, par leur forme et par analogie avec des phénomènes terrestres, observés dans la vie courante, la probabilité de mouvements de rotation. La simple observation des spectrogrammes a permis à Slipher de déceler vitesse radiale et rotation, fort de son expérience sur les planètes. Enfin, nous y avons fait allusion, la photographie permet le développement de mesures sur les photographies elles-mêmes (mesures de rotation, de magnitude par exemple) mais aussi dans le cadre de la spectroscopie devenue spectrographie.

Le fait, pour plusieurs auteurs, de donner une dénomination métaphorique à un même objet montre à quel point les images sont interprétées. C'est ainsi que les formations observées à la surface du Soleil[454] se voient données le nom de « grains de riz » par Ston à Greenwich, de « pores » par William Huggins et de « granules » par William R. Dawes. Aucun doute que pour ces auteurs ces dénominations sous-entendent des significations différentes.

Lorsque Slipher commence sa formation en astronomie, les dessins de Lord Rosse et la photographie de la Grande Nébuleuse d'Andromède par Isaac Roberts sont présents dans les ouvrages destinés aux étudiants. Ils vont sans doute influencer ses conceptions sur ces objets et, nous l'avons vu, lui faire accepter facilement la conception nébulaire de Laplace.

---

[453] Voir l'annexe 1 et la partie consacrée à William Herschel.

[454] Hentschel. Op. Cit.

2.1.2.4. L'image, mémoire de stockage d'information.

La possibilité de conservation des images et la constitution de « banques de données » a permis la recherche de modifications des objets photographiés. Grâce à elles des étoiles nouvelles ont été découvertes à l'intérieur des nébuleuses spirales, les astronomes ont décelé des déplacements et tenté de mesurer des vitesses de rotation. Compte tenu des grandes distances des objets étudiés, il faut de longs délais entre deux prises de vues pour avoir des chances d'observer un déplacement ; faute de quoi il se trouve hors des possibilités techniques de mesure.

2.1.2.5. Les illustrations « non figuratives »

Elles ont habituellement une fonction interprétative. Ici nous parlons d'images entièrement créées par l'auteur. Certaines ont joué un rôle considérable dans la question des nébuleuses. C'est par exemple le cas de la découverte de la « zone d'évitement ». Les astronomes ont très vite remarqué que les nébuleuses se répartissaient de façon différente sur la sphère centrée sur l'observateur et qu'en particulier la Voie Lactée permettait de séparer plusieurs groupes de nébuleuses. Les amas globulaires sont présents presque partout, les nébuleuses irrégulières plutôt dans ou au voisinage proche de la Voie Lactée. Les spirales, au contraire, restent à distance de cette dernière et semblent « l'éviter ». Ce qui est caractéristique ici c'est qu'il n'était pas techniquement possible de reproduire ces observations par une représentation photographique. Il a fallu faire appel à un type de représentation symbolique sous forme de cartes. Cette impression subjective est en effet devenue évidente lorsque ces cartes ont pu être dressées.

2.1.2.6. Les limites de l'image.

Les images sont réductrices, d'abord au niveau de l'objet. Le diamètre du télescope, le temps de pose ont un effet sur la partie de l'objet visible ou non ; la sensibilité du récepteur est une seconde limitation et la troisième tient à la représentation bidimensionnelle d'un objet qui possède un volume. D'autre part, l'image ne peut représenter la totalité des objets et l'Univers en lui-même lui échappe.

Il nous semble préférable de considérer qu'il faut extraire de cette image un ensemble de signes. Cette extraction de caractères signifiants repose en grande partie sur l'observateur.

Dans cette phase d'analyse de l'image, l'intuition et l'analogie jouent un rôle important. En témoignent les mots employés dans les comptes-rendus d'analyse de ces images : Ritchey[455] parle de « filaments, de nuages, de trous ». Les astronomes créent des néologismes : « étoiles nébuleuses » et parfois les termes employés sont fortement imprégnés de leur hypothèse : « noyau stellaire » pour parler du centre de la nébuleuse Messier 31. L'image ne peut donc pas être considérée comme totalement objective, même si la photographie est souvent considérée comme plus objective que le dessin (voir le dessin de Messier 51 par John Herschel). À partir de ces signes, perçus ou interprétés comme tels, l'astronome va pouvoir classer, comme Hubble, et mesurer comme van Maanen par exemple.

L'image apparaît donc comme un « modèle » dont elle possède, comme nous le verrons plus loin, certaines caractéristiques comme la simplification et le caractère synthétique. C'est à la fois un modèle de représentation mais aussi un modèle d'hypothèses, lorsque par exemple Ritchey parle de noyau stellaire. Comme le modèle, la photographie est construite à l'aide des instruments et parfois adaptée pour en rendre plus compréhensible la signification, en utilisant par exemple des codes de couleur. Mais est-ce toujours un modèle ? Dans certains cas l'objectif premier de l'astronome a d'abord été d'obtenir une bonne image de l'objet. Dans ce cas, les hypothèses viennent après, grâce à l'analyse des signes observés sur la photographie.

2.1.3. Les astronomes et l'image : interprétation et preuve.

L'interprétation des images par les astronomes et la confiance qu'ils en ont dépendent de nombreux facteurs. Il faut d'abord qu'ils connaissent parfaitement leur appareillage grâce à la théorie de l'instrument et à une pratique régulière, bien illustrée par l'exemple caractéristique de Vesto Slipher. Ils interprètent également l'image en fonction des théories qu'ils utilisent dans leur recherche et également avec toutes les connaissances qu'ils ont acquises. Mais il faut souligner que leurs attentes peuvent parfois influencer leur jugement sur l'image, nous en avons vu de nombreux exemples précédemment (Roberts, van Maanen…), abordés au chapitre observation.

Si parfois l'image est utilisée dans sa fonction purement illustrative, elle constitue, avec l'observation directe et le témoignage, un des supports de preuves dans les domaines les

[455] (Ritchey, 1901)

plus divers, depuis le droit jusqu'à la science. Pour Catherine Allamel-Raffin, la preuve possède sept traits généraux que nous retrouvons dans la pratique astronomique :

La mise en relation d'une **raison** et d'une **conséquence**, éléments principal du processus probatoire.

Cette mise en relation possède une **exigence de rationalité**.

Elle est mise en œuvre dans un cadre de **croyances fondamentales** partagées,

Avec un **dispositif opératoire**.

Il faut définir et accepter des **critères de délimitation** afin que le processus probatoire puisse avoir une fin.

Il se déroule enfin dans une **communauté humaine** spécifiée.

Les astronomes produisent-ils des images en vue de convaincre ? La question ne peut évidemment pas être tranchée pour tous les cas. Les techniques de l'époque ne permettent pas, contrairement à aujourd'hui avec la photographie numérique, de retoucher profondément l'image, néanmoins lorsque van Maanen superpose des flèches sur les photographies des nébuleuses, cette construction suppose un désir de convaincre. Dans d'autre cas les images, non modifiées, sont juxtaposées dans un ordre délibéré qui constitue l'argument de la preuve. Lorsque Hubble regroupe les galaxies spirales en fonction de la taille de la partie centrale il illustre une théorie de l'écoulement de matière à partir du noyau central.

Dans ses publications, Slipher utilise peu les illustrations, au contraire de ses conférences toujours complétées de nombreuses illustrations. Nous les connaissons par les archives où sont conservées les notes de préparation de ses exposés[456]. Sur le plan épistémologique, Slipher utilise tous les types d'images que nous avons analysées. L'image descriptive permet d'illustrer le texte par des exemples plus parlants. C'est par exemple les images d'un spectre (figure 20) ou d'un appareillage (figure 26 utilisées par Slipher dans les rares articles illustrés.

[456] Archives Boite 1. 1906-1916 #14. LOA.

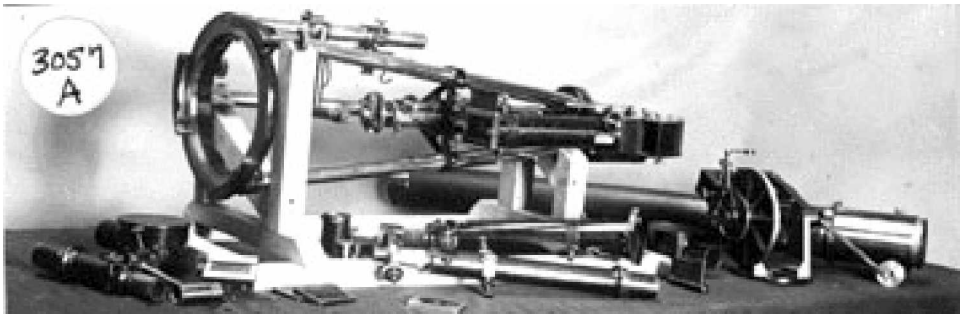


Figure 26 : Le spectrographe utilisé par Slipher en 1904[457].

Cliché Lowell Observatory.

Lors des congrès scientifiques, même au tout début du XXe siècle, les astronomes utilisent largement la photographie. Les documents tirés des archives nous montrent Vesto Slipher préparant minutieusement les photographies qu'il utilisera pour illustrer sa conférence. Voici la liste des images qu'il se propose de projeter[458] au congrès d'Atlanta en décembre 1913 :

1. Spectrograph
2. Gaseous nebular spectrum
3. Dark line spectrum
4. Saturn and Jupiter spectra showing rotation (prepared)
5. Spectrogram of Virgo and Andromeda nebulae combined to show velocity displacement
6. Star spectrogram showing velocity line of sight (prepared)
7. Spectrogram of Virgo to show rotation
8. Slide of irregular nebula
9. Planetary
10. Spiral nebulae face views
11. Slides of nebulae edge views
12. Slides of nebulae intermediate views

14.6: Spectrum of the Pleiades.

14.7: Radial velocity of the Andr. Nebula 1913. LOB 2(58) 56-57 et Pop Astr 22 : 19-21.

[457] (Slipher, 1904b)

[458] Boîte 1. 1906-1916 #14. LAO. La numérotation est de Slipher.

On trouve ici plusieurs types d'images. Certaines sont purement illustratives (1, 8, 9, 10, 11, 14.6). D'autres ont pour but de montrer, par comparaison avec celui d'une nébuleuse gazeuse, que le spectre est de type solaire (2, 3). Au contraire, avec d'autres, il souhaite démontrer la rotation (4, 7) et la vitesse radiale (5, 6, 14.7). Que veut faire Slipher avec ces images ? Il veut séduire ses collègues avec des images de bonne qualité et plutôt impressionnantes (rappelons que beaucoup d'astronomes n'ont pas eu, à cette époque, l'occasion d'observer ces nébuleuses, faute de posséder un appareillage adapté. Il veut aussi informer mais surtout convaincre. Il utilise l'analogie en comparant les spectres des spirales, à ceux connus des astronomes, pris sur Saturne ou Jupiter dont la rotation est bien connue. Il fait de même pour les vitesses radiales, en prenant comme référence la mesure de vitesse radiale des étoiles.

Avec la photographie Slipher met en relation l'inclinaison des raies du spectre et la rotation de la nébuleuse spirale. Cette relation est rationnelle car il existe une suite de déductions logiques entre le phénomène de rotation et l'inclinaison des raies spectrales. Il utilise aussi, comme nous l'avons précisé, l'analogie entre le spectre de la nébuleuse spirale et celui d'une planète où les raies sont, dans les deux cas, inclinées. Dans le cas des planètes d'autres phénomènes observables ont conduit à admettre l'existence de leur rotation. Les planètes servent donc de « témoins » à la démonstration de la rotation de la nébuleuse spirale. Cette relation se fait dans un cadre de croyances partagées sur la spectrographie et l'effet Doppler en particulier. Les critères de délimitations ne sont pas explicites mais Slipher se limite ici au phénomène de rotation, sans tirer de la photographie plus de précision sur la nature même des phénomènes qui se produisent au sein de la nébuleuse, ou qui sont à l'origine de la rotation. Enfin, la communauté des astronomes, qui partage ses connaissances, n'a aucun mal à accepter la démarche probatoire proposée par Slipher. Il en est de même de sa mise en œuvre et de la mesure de la vitesse radiale pour laquelle il emprunte une démarche similaire.

D'autres astronomes, avec les mêmes objectifs, empruntent à Slipher ses clichés afin d'illustrer leurs conférences. C'est le cas de Brasch[459], de Fath[460] ou Hubble[461].

---

[459] Lettre de E. Brasch à Vesto M. Slipher du 30/7/1952. LOA.

[460] Lettre de E. Fath à Vesto M. Slipher du 2/12/1912. LOA.

[461] Lettre de E. Hubble à Vesto M. Slipher du 8/7/1940. LOA.

2.1.4. Évolution des images des nébuleuses spirales.

2.1.4.1. Le dessin

Il a été utilisé très tôt en astronomie des nébuleuses (annexe 1). Les premières représentations, extrêmement schématique, sont celles de la nébuleuse d'Andromède et du grand nuage de Magellan dans l'ouvrage de Abd-al-Rahman Al Sufi (903-986).

Les nébuleuses au sens général, mêlent dans le catalogue de William Herschel différents objets, parfois pas toujours bien identifiés : amas globulaires, amas ouverts, nébuleuses gazeuses et autres nébuleuses. Herschel préfère les descriptions textuelles aux dessins, plutôt rares dans ses manuscrits.

Son fils John utilisera le dessin plus abondamment et de façon plus précise. Les nébuleuses apparaissent le plus souvent en noir sur fond blanc, en « négatif », beaucoup plus rarement dans leur aspect naturel. Michael Hoskin[462] a étudié tout particulièrement un dessin de Messier 51 (nébuleuse située dans la constellation Canes Venatici) de John Herschel datant de 1833 comparé à celui de Lord Rosse réalisé en 1845. La comparaison des deux images illustre le rôle de l'hypothèse dans la représentation figurée de l'objet. John Herschel estime que cette nébuleuse spirale doit avoir la même structure que notre Voie Lactée et cela le conduit à produire un dessin dans lequel les bras apparaissent sous la forme de deux anneaux, en accord avec l'idée qu'il se fait de la Galaxie dans le cadre d'une analogie avec les anneaux de Saturne. On voit ici John Herschel hésitant entre deux conceptions : celle d'amas d'étoiles et l'hypothèse nébulaire de Laplace, renforcée par l'analogie avec Saturne. Voici en effet le commentaire qui accompagne le dessin (figure 27, dessin de gauche): « Supposing it to consist of stars, the appearance it would present to a spectator placed on a planet attendant on one of them eccentrically situated toward the North preceding quarter of the central mass, would be exactly similar to that of our Milky Way, traversing in a manner precisely analogous the firmament of large stars, into which the central cluster would be seen projected, and (owing to its greater distance) appearing like it, to consist of stars much smaller than those in other parts of the Heavens. Can it then, be that we have here a brother system bearing a real physical resemblance and strong analogy of structure to our own? Were it not for the subdivision of the ring, the most

[462] (Hoskin, 1982)

obvious analogy would be that of the system of Saturn, and the ideas of Laplace respecting the formation of that system would be powerfully recalled by this object…"

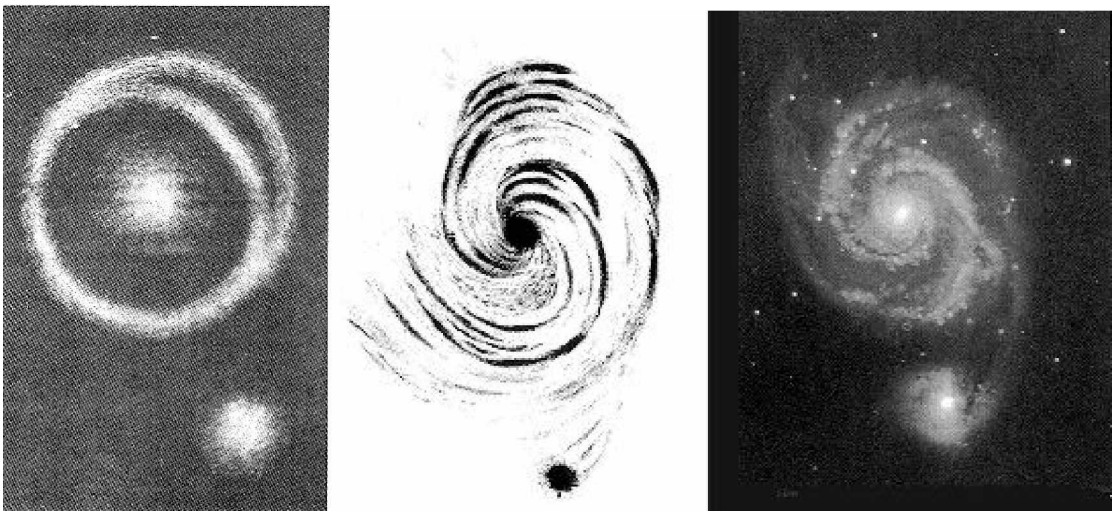


Figure 27 : Dessin de Messier 51 par John Herschel, Lord Rosse et une photographie actuelle.

Mais ce sont les dessins systématiquement annexés aux descriptions de Lord Rosse (figure 27, dessin du milieu) qui joueront un rôle éminent dans la période qui précède immédiatement la photographie. Ces dessins, précis, de nébuleuses spirales, lui suggèrent le mouvement: « … that such a system should exist without internal movement, seems to be in the highest degree improbable. » En prenant connaissance de la publication de Lord Rosse, John Herschel déclare : « I have not myself been so fortunate as to have witnesses its performance…" reconnaissant ainsi la supériorité des observations de l'astronome irlandais.

Robert Ball, cité par MacPherson en1916[463], résume l'impact des dessins de Lord Rosse. Il montre cependant que ces dessins restaient fortement marqués, et nous l'avons vu, à juste titre, du soupçon de subjectivité. La photographie apportera en définitive une confirmation de la structure spirale de certaines de ces nébuleuses:

« Probably the greatest discovery made by means of the famous Rosse telescope was that of the spiral nebulae. By means of the great mirror of Parsonstown, the nebula in Canes venatici -which had in Sir John Herschel's telescope the aspect of a split ring encompassing a bright nucleus- was seen to be a great spiral or whirlpool. As the late Sir Robert Ball pointed out, "the announcement of the discovery of the spiral constitution of this object was received with incredulity by astronomers, who believed or professed to believe that the spiral lines of

[463] (Macpherson, 1916)

nebulous matter, which Lord Rosse described so faithfully, existed only in the imagination of the astronomer." The real truth was that, whatever the effects of Lord Rosse's telescope, it was peculiarly adapted for nebular work, in virtue of its great light-gathering power. It was not until the advent of photography that Lord Rosse's great discovery was put beyond all doubt. Isaac Roberts in England and Keeler and other observers in America not only confirmed the observations of Lord Rosse on the particular objects-fourteen in number-which ha had announced to be spiral, but discovered many more spiral nebulae all over the heavens. Shortly before his death Keller announced that there were 120,000 new nebulae within reach of the Crossley reflector, and at least half of these, he held, were probably spiral."

2.1.4.2. Les photographies

Pour l'artiste, la représentation figurée évoque à la fois le monde visible et l'invisible. Les peintres cubistes et plus tard les futuristes italiens ont voulu sortir de la représentation classique en perspective, pour montrer les trois dimensions et le mouvement[464] des motifs qu'ils peignent. Ils abordent ainsi, à leur manière, les quatre dimensions de l'espace-temps. Pour le peintre, la photographie a des insuffisances flagrantes[465] : « ...La photographie n'est pas capable de donner deux vérités à la fois… elle n'a aucune méthode de compensation comme celle que tout peintre trouve de lui-même. » Il veut dire qu'en adaptant les valeurs de ses couleurs, leurs intensités, le peintre peut mettre en évidence plusieurs aspects d'un même objet alors que la photographie adopte des valeurs homogènes pour l'ensemble des objets présents sur l'image. La photographie donne une image plus réelle, dans le sens qu'elle représente la réalité visible, mais le peintre peut révéler des vérités dissimulées ou moins faciles à percevoir. À cet effet John Herschel utilisait les procédés des artistes en renforçant, de façon modérée, les caractéristiques les plus démonstratives des objets. Il est important de noter que bien souvent ses représentations dessinées surpassaient en définition ce que l'œil pouvait réellement distinguer au télescope. Aujourd'hui les traitements d'image offrent de larges possibilités de modifications des images brutes obtenues sur le capteur C.C.D.

J. Dreyer[466], un astronome américain intéressé aux nébuleuse publie en 1904 un article sur les études successives de Messier 33 réalisées à partir des photographies faites par Isaac

[464] Le cinématogaphe apportera la dimension temporelle.

[465] Philip Hamerton, Thoughts about art. London 1889. Cité par Hentschel Op. Cit. L'avènement de la photographie est contemporaine d'une nouvelle conception de la peinture qui conduira à l'Impressionnisme, à côté de peintres réalistes et « officiels » comme Cabanel par exemple.

[466] (Dreyer, 1904)

Roberts et Dreyer lui-même. Il commence par rappeler qu'il n'existait que deux dessins de cette nébuleuse spirale, l'un fait par Johnston Stoney en 1850, l'autre par R.J. Mitchell en 1857 , tous deux réalisés à Birr Castle, l'observatoire de Lord Rosse. Ces dessins illustrent la difficulté de bien voir les détails de l'objet au contraire de la photographie dont Dreyer précise l'apport : « But photography has now given us the means of depicting faithfully the most complicated objects in the world of nebulae… » De plus la photographie permet, pour la première fois des mesures micrométriques qui limitent les erreurs personnelles de chaque observateurs. En obtenant une photographie avec un large champ il est possible de mesurer des distances entre des points de la nébuleuse et des étoiles de comparaison sans attendre leur transit au méridien. Roberts espère, nous sommes en 1904, pouvoir mesurer des mouvements internes et une parallaxe. L'article se termine par une photographie de la spirale prise par I. Roberts et d'une carte de la nébuleuse. Cet exemple illustre bien que dès le début des photographies nébulaires, les astronomes ont compris le bénéfice qu'ils pourraient tirer de cette technique.

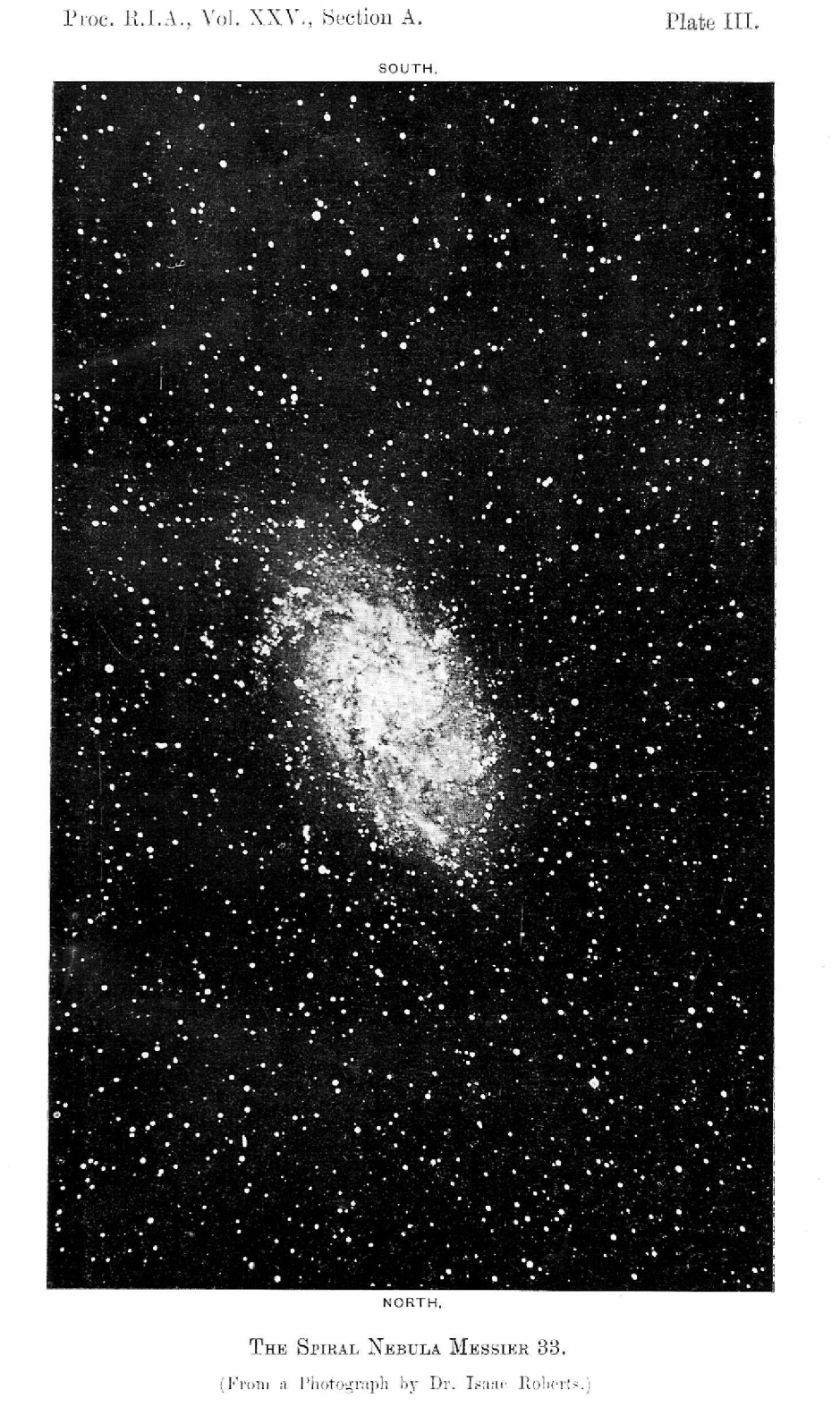


Figure 28 : Photographie de Messier 33 prise par Isaac Roberts le 16 janvier 1903.

Figure 29 : Carte de Messier 33 dressée par J. Dreyer à partir des photographies de I. Roberts (1904)

J. Keeler un des pionniers de la photographie des nébuleuses témoigne ainsi de l'apport de la photographie[467]: "It is an interesting fact that these photographs confirm (in some cases for the first time) many of the visual observations made with the six-foot reflector of the Earl of Rosse." Cette observation visuelle restait en effet la référence, d'où l'utilisation du mot « confirm ». Les quelques photographies de Roberts, cependant d'une très grande qualité, ne montraient pas la précision des détails des photographies réalisées avec une lunette de grand diamètre (Le Crossley de l'observatoire de Lick qu'utilise Keeler). La surprise vient également de la découverte d'un grand nombre de ces objets sur une même plaque photographie : un maximum de trente pour une pose de trois heures et demi à quatre heures. Dans ce document Keeler apporte un éclairage intéressant sur le rôle des conceptions de l'astronome dans l'interprétation de son observation, conceptions que la photographie va corriger. John Herschel avait en effet donné un dessin d'une nébuleuse, dessin qui ne correspond pas à l'image photographique. Keeler interprète cette divergence par l'influence de Poincaré (et plus celle de Laplace): « …these figures which Herschel have sometimes been regarded as furnishing analogies for the figures which Poincaré had deduced, from theoretical considerations, as being among the possible forms assumed by a rotating fluid mass…" Keeler observe que la photographie montre en effet des signes d'une rotation mais qu'elle semble plus compliquée que ne le laisse présager la théorie. Pour lui, l'aspect de ces nouvelles images permet de remettre en question la théorie de la contraction d'une masse nébulaire (théorie de Laplace) tout autant que les arguments théoriques de Chamberlin et Moulton.

Un exemple : les représentations de la Nébuleuse d'Andromède.

L'aspect emblématique de cette nébuleuse spirale tient à sa proximité et aux possibilités d'observation qu'elle offre, d'abord à l'œil nu, puis avec de modestes instruments. Les puissants télescopes ont permis très tôt d'analyser finement ses constituants. Il nous paraît intéressant de décrire l'histoire de son observation et surtout de sa représentation figurée.

Ismael Boulliau présente en 1667[468] la nébuleuse sous la forme de points réunis dans une forme elliptique. Ce dessin sommaire, plus destiné à positionner l'objet dans le ciel, apporte cependant des informations intéressantes. En effet cette observation à l'œil nu montre

[467] (Keeler, 1908)

[468] Ce dessin est inspiré du manuscrit persan de Al-Sufi (voir annexe 1).

qu'il ne s'agit pas d'une étoile. Le dessin suggère la nature floue de l'objet, figuré sans contours et donne une bonne idée de sa forme elliptique.

Figure 30 : La nébuleuse d'Andromède dans l'ouvrage d'Ismael Boulliau (Paris 1667). Elle se situe près de la tête du poisson (A)

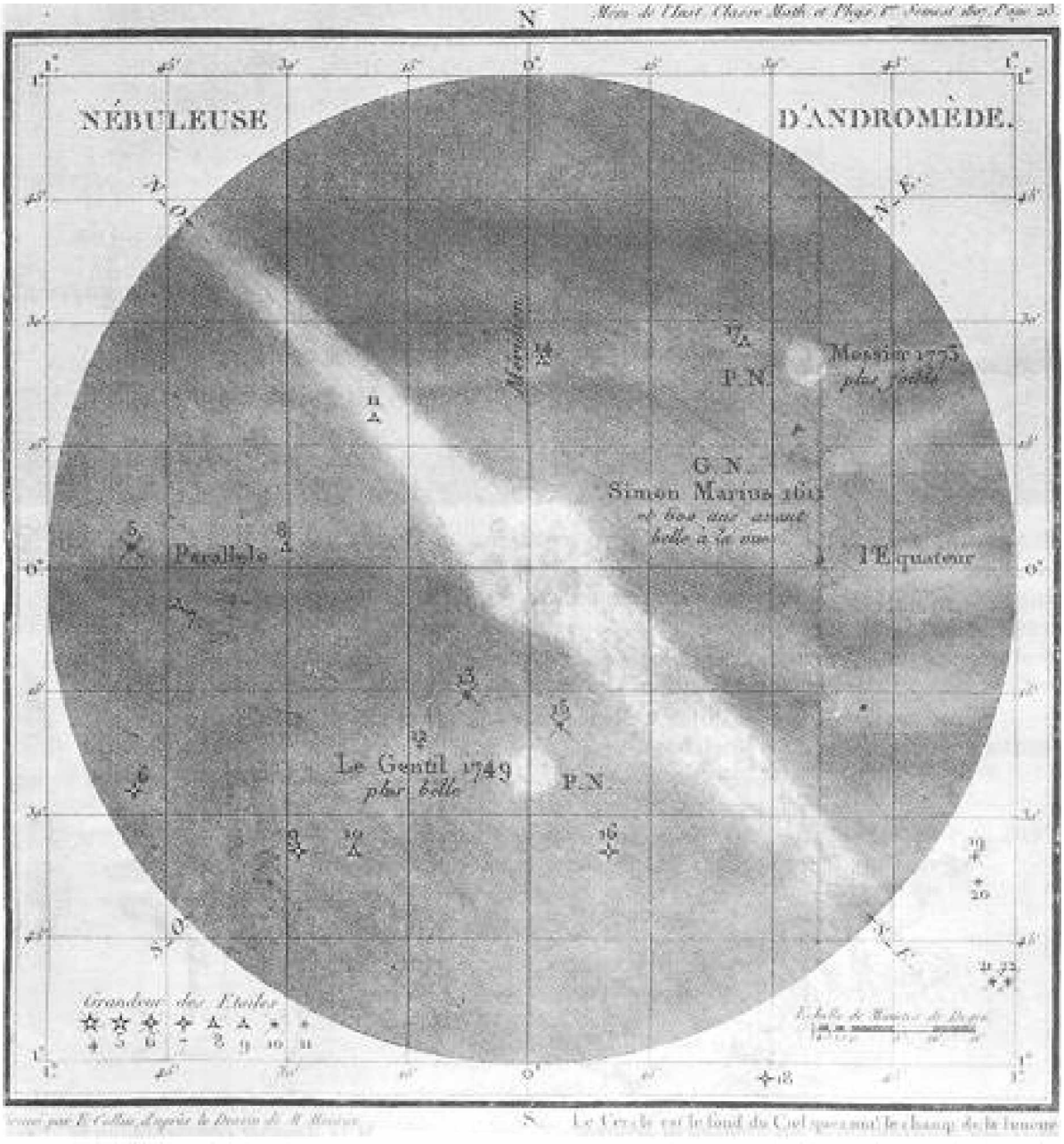


Figure 31: Dessin de Messier 31 par Charles Messier.

Le dessin de Messier est le premier à donner une image assez fidèle de l'objet. À partir de ce moment un partage est possible avec les autres observateurs permettant des confrontations à distance. Ce dessin montre, outre les contours de l'objet principal, les deux compagnons associés. Aucune structure spirale n'est représentée et Messier n'en décrit pas dans son commentaire. La nébuleuse est repérée par des coordonnées et une échelle permet d'apprécier sa taille angulaire.

John Herschel donne une image plus fine que celle de Messier mais pas plus détaillée. Elle ne montre pas non plus de structure spirale.

Bond en 1847 donne un curieux dessin, en négatif, très interprété. Les bandes sombres sont en effet accentuées et le tracé de la nébuleuse se poursuit en direction des compagnons comme pour indiquer qu'ils font partie de l'objet principal. Ce dessin est à mettre en relation avec celui de Etienne Léopold Trouvelot (1827-1895), daté de 1874 qui lui ressemble beaucoup[469]. Tous deux travaillaient à l'observatoire de Harvard.

Il est intéressant de signaler une parenté entre le dessin de Messier et ceux de Bond et de Trouvelot : l'orientation est la même alors qu'elle sera inverse pour la photographie de Roberts.

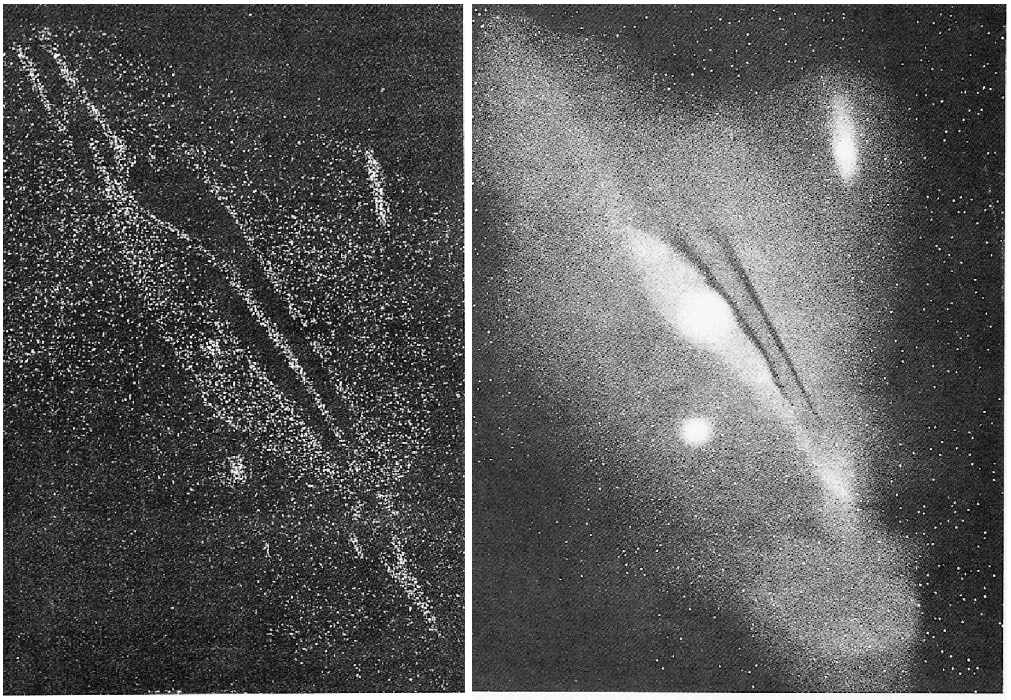


Figure 32 : Deux dessins de Messier 31, l'un de Bond (1847) et l'autre du français Trouvelot (1874).

[469] (Trouvelot, 1885) Il s'agit d'une lithographie.

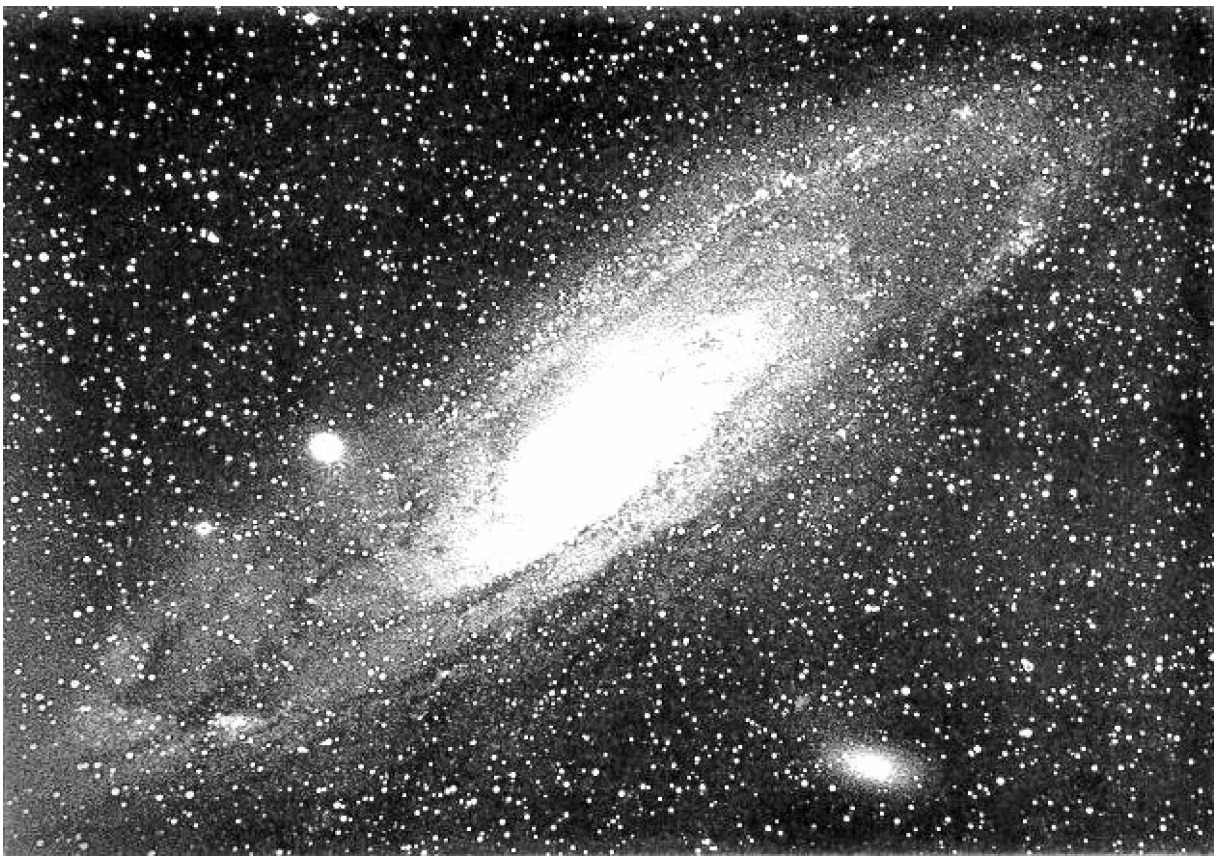


Figure 33 : Première photographie de Messier 31 par I. Roberts.

La première photographie de cet objet a été prise le 1er octobre 1888. Dans son article Isaac Roberts décrit ainsi la nébuleuse[470]: "No verbal description can add much to the information which the eye at a glance sees on the photograph, and those who accept the nebular hypothesis will be tempted to appeal to the constitution of this nebula for confirmation, if not for demonstration of the hypothesis. Here we (apparently) see a new solar system in process of condensation from a nebula – the central sun is now seen in the midst of nebulous matter which in time will be either absorbed or further separated into rings. The farthest boundaries of the nebula have already separated into rings more or less symmetrical with the nucleus and present a general resemblance to the rings of Saturn."

Roberts utilise des termes forts : « *confirmation* » et « *demonstration* » qui témoignent de la confiance qu'il a en la photographie mais le reste du texte illustre la conception qu'il a de la nature de la nébuleuse : il voit ce qu'il souhaite voir. En novembre il envoie un tirage de

[470] (Roberts, 1888)

la photographie à William Huggins[471]. Ce dernier décrit le cliché à George G. Stockes, secrétaire de la Royal Society le 27 novembre 1888, en ces termes : « … Elle révèle pour la première fois à l'œil humain sa véritable nature. Un système solaire en cours d'évolution à partir d'une masse nébuleuse ! Ce pourrait être un schéma illustrant l'hypothèse Nébulaire ! Je n'espérais pas voir une telle chose. Il y a quelques six ou sept anneaux de matière nébuleuse déjà expulsés et dans certains d'entre eux nous observons le début d'une condensation planétaire et une planète extérieure est totalement condensée. La masse centrale est encore plus grande, pour la comparer au système solaire, elle est à peu près aussi étendue que l'orbite de Mercure. Les anneaux sont tous dans le même plan et la position de l'ensemble est tel que nous le voyons obliquement. »

Dans son carnet, l'épouse de Roberts a noté : « How Laplace would rejoice over it ! ». C'est presque la même exclamation que celle que Slipher prononce en étudiant les spectres de cet objet et en découvrant son type solaire et sa rotation.

Ces commentaires permettent de voir chez Roberts, comme chez Huggins, l'usage qu'ils font de la photographie comme un élément déterminant dans la confirmation de l'hypothèse de Laplace. Les bras spiraux sont immédiatement interprétés comme des anneaux et le bulbe central comme un soleil. Les condensations sont des planètes en formation lorsqu'elles sont un peu floues, et les objets voisins (les galaxies satellites) des planètes déjà formées : Une interprétation en termes totalement réaliste, au sens philosophique de ce mot, de la photographie.

[471] Cet épisode est décrit par Barbara J. Becker, professeur d'histoire des Sciences à l'Université de Californie à Irvine. Il s'agit du texte d'un cours mis à disposition par l'auteur sur Internet à cette adresse : http://eee.uci.edu/clients/bjbecker/ExploringtheCosmos/lecture17.html

PLATE VIII.

N.

S.

CENTRAL PARTS OF THE GREAT NEBULA IN *ANDROMEDA*.
PHOTOGRAPHED WITH THE TWO-FOOT REFLECTOR OF THE YERKES OBSERVATORY BY G. W. RITCHEY.

Figure 34: Ritchey 1901: « Plate VIII is from a photograph of the Great Nebula in Andromeda, obtained by the writer with the two-foot reflector

on the night of September 18, 1901, with an exposure of four hours. The aperture was in this case reduced to eighteen inches, in order that good definition might be secured over a larger field than is well covered when the full aperture is used. In the original negative the fine spiral structure is visible almost to the center of the nebula, and the stellar nucleus is distinctly seen. Sharply defined narrow rifts and dark holes are shown on all of the negatives near the center; no trace of these can be detected visually with any telescope. The enlargement as compared with the original negative is 4.5 diameters.″

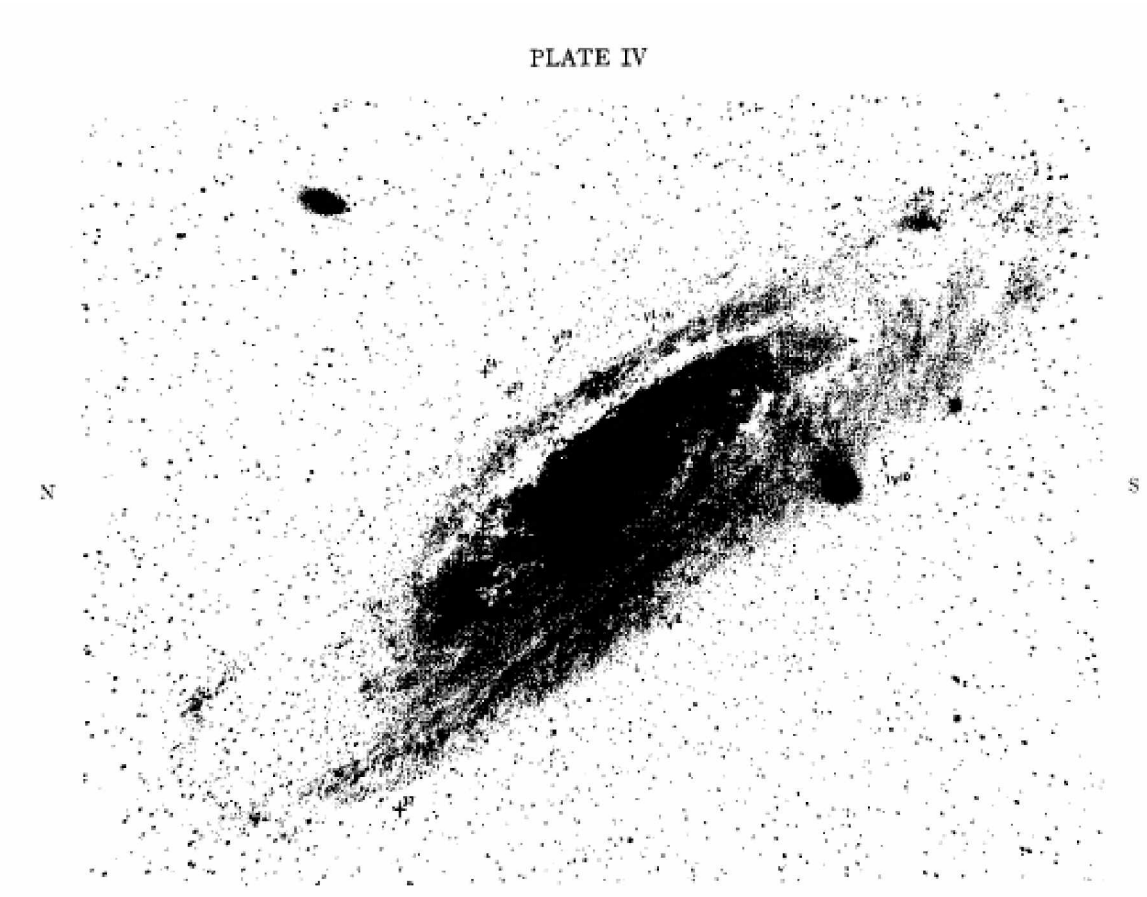


Figure 35: Hubble (1929) la décrit ainsi: « Plate by Ritchey, 24-inch reflector at Yerkes Observatory, September 18, 1901. Scale 1 mm=39″.1. Novae are indicated by crosses; variables, by lines and a V preceding the

number. V1, 15 and 19 can be seen on the plate. The open cluster N.G.C. 206 is 3 mm below nova N° 46. Variables in Region 4, centered 13 mm to the right of N.G.C. 206, and novae near the nucleus are not marked. " Il s'agit d'une image prise par Ritchey le même jour que la précédente et utilisée par Hubble comme support de carte pour placer les étoiles variables et les novæ observées dans cette nébuleuse.

Présence d'étoiles dans les nébuleuses spirales :

Après avoir cru pouvoir résoudre toutes les nébuleuses en étoiles, William Herschel, déçu, reconnaît en 1814 que certaines d'entre elles sont au-delà des possibilités de ses télescopes[472].

Plus tard, Cortie en 1919[473] décrit ainsi les nébuleuses spirales: « Turning now to the spiral nebulae, we find them distinguished from all others by their peculiar structure – a central condensation and in general two branching encircling arms, which have their origin at opposite ends of a diameter of the central nucleus. They have also well-marked differences among themselves with regard to the distribution of the stars in the nucleus and along the spiral arms. The nebula in Coma Berenicis (Messier 64) is unique in that the stars are found only in the central regions, the spirals being entirely free from them. This nebula, independently of its structure, is a connecting-link between the filamentous class and the spirals. On the other hand, the spiral (Messier 81) in Ursa Major and the great nebula in Andromeda contain no stars at all in the central portions. They are all concentrated along the spiral arms. But in most spirals –for example, in the prototype in Canes venatici and in the nebula (Messier 101) in Ursa Major – the stars are bounced in clusters in all regions of the nebula, from the central nucleus to the terminations of the encircling convolutions. The spiral in Triangulum (Messier 33) contains no less than 26,000 stars physically connected with the nebula." Ce texte, qui montre que la conviction qu'il s'agit pour lui de structures semblables à celles de notre Galaxie, pousse Cortie à voir (et même à compter) ce qui n'est pas encore observable réellement avec le télescope dont il dispose, les étoiles de ces nébuleuses spirales.

La photo ci-dessous de M 31 (figure 36), datée de 1925, a été prise par Duncan au télescope de 100 pouces du Mont Wilson avec une pose de deux heures[474]. Elle résout clairement la galaxie en étoile. Les flèches indiquent la présence d'étoiles variables. En outre, Hubble note la présence d'un amas globulaire.

---

[472] Annexe 1, William Herschel .

[473] (Cortie, 1919)

[474] (Hubble, 1929b)

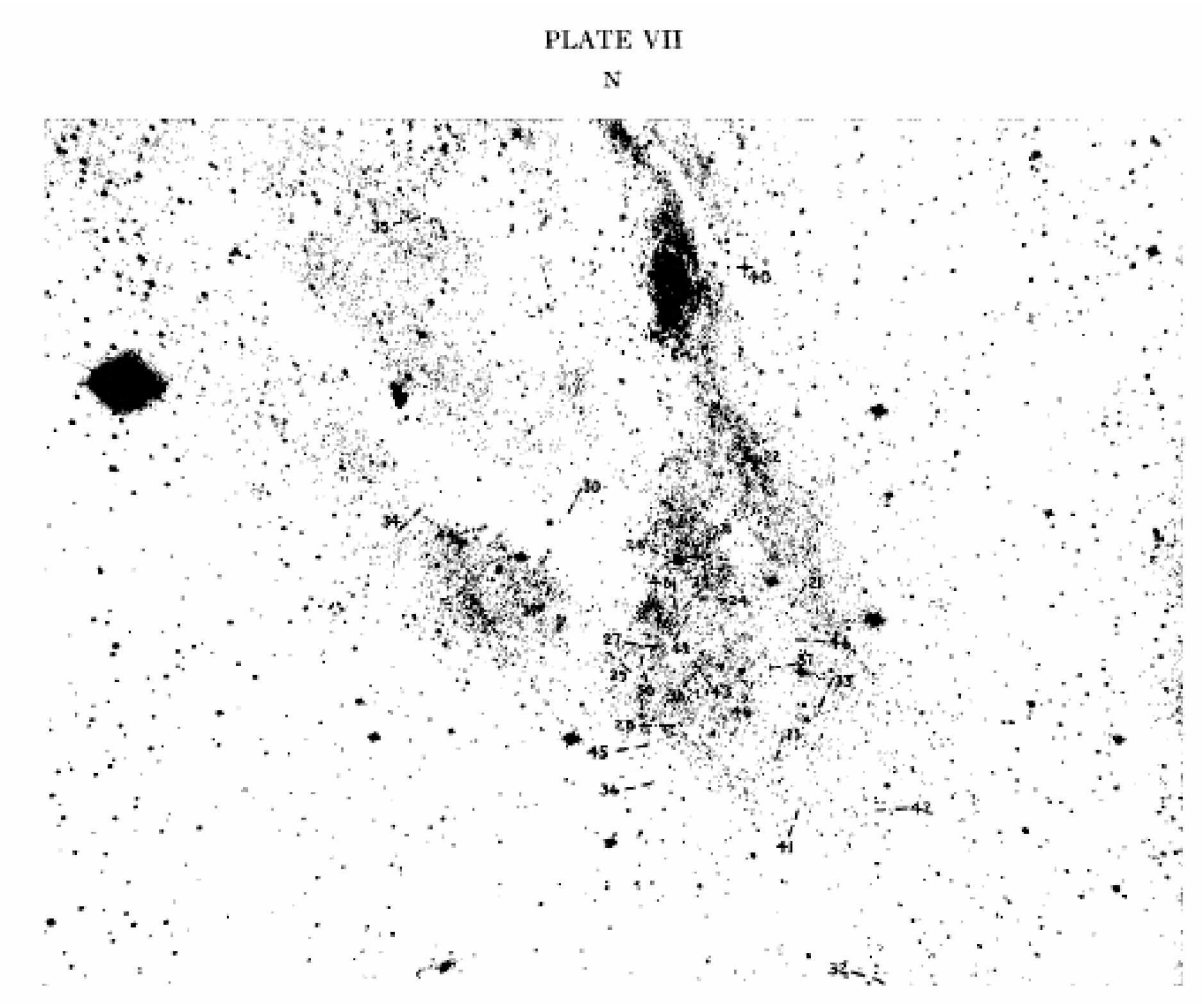


Figure 36 : Cette photographie d'une partie de Messier 31 montre sa résolution en étoiles.

La succession des images prises au cours du temps, qu'il s'agisse de Messier 51 ou de Messier 31 sont très riches d'informations pour l'historien. Elles montrent, qu'au moins en ce qui concerne les dessins, les conceptions de l'observateur jouent un rôle important dans la représentation qu'ils donnent de l'objet (le dessin de Messier 51 par John Herschel en est l'exemple le plus démonstratif). La succession des photographies illustre aussi les progrès de l'instrumentation et des hypothèses que les astronomes déduisent de leurs observations comme par exemple la structure spirale de Messier 31, la présence de bandes sombres déjà évoquées sur les dessins, et enfin la résolution en étoiles. La valeur probatoire de ces photographies est grande et en particulier dans le cas de la résolution en étoiles la photographie joue un rôle fondamental. Sa valeur de preuve résulte également de la possibilité de découverte de toujours plus de novæ et plus tard de l'observation d'étoiles variables. Mais

il nous semble que la photographie a surpassé largement les autres arguments dans l'acceptation de la constitution stellaire des nébuleuses spirales.

2.2. La place de l'image dans les travaux de Vesto Slipher.

Slipher travaille sur les images, mais sur un type particulier : des spectres. Avant de les produire Slipher, comme tous les astronomes, possède des connaissances sur les objets qu'il étudie qui se traduisent par des images mentales. Lorsqu'il réussit à produire des spectres, leur image est d'abord interprétée puis elle va servir de support de mesures.

2.2.1. L'image mentale.

On appelle image mentale[475] une représentation « visuelle » d'un objet qui n'est pas, au moment même où elle est formée, présent pour une vision oculaire. Cette image peut se former à la suite d'une sensation visuelle antérieure, mais être aussi issue de la théorie. Le sujet « imagine » alors un concept qu'il n'a jamais vu. Dans la formation de l'image mentale d'un concept général, le sujet utilise les souvenirs de son expérience sensible. Par exemple le concept « galaxie » crée une image mentale d'une galaxie particulière, variable d'un individu à l'autre et, pour une même personne, d'un moment à l'autre. L'image mentale est souvent très différente de l'image rétinienne. Par exemple un cercle est identifié comme tel, même si l'image rétinienne est une ellipse. Les astronomes qui observent des nébuleuses n'ont pas de difficultés pour accepter l'idée que différentes formes issues de la projection des galaxies sur le plan du ciel correspondent à un même type d'objet, circulaire, même lorsque la galaxie est vue strictement de profil. Cette confiance résulte de deux phénomènes : l'expérience commune de cette projection des cercles sur la rétine et le fait que tous les intermédiaires sont observés entre la spirale vue de face et celle observée de profil. Mais cette confiance résulte de l'expérience. C'est ainsi que les premières galaxies vues strictement de profil ont d'abord formé une classe à part, les « *spindles* », avant d'être intégrées aux nébuleuses spirales. La

[475] Pour le sujet de l'image mentale en général il est utile de consulter (Joly, 1993) et plus récemment: (Massart, 2005)

puissance du raisonnement par analogie pousse les observateurs à rechercher sur Terre des objets dont l'image est semblable à celle des objets célestes (cratères de la Lune comparés, par exemple, aux cratères terrestres et plus récemment comparaison d'images de sédiments terrestre avec des photographies prises sur Mars). En retour, déclare Hentschel[476], les images terrestres sont recherchées à la surface des objets, permettant aux astronomes de « reconnaître » ces structures. Dans l'histoire des nébuleuses, la forme spirale a suscité l'idée du mouvement par analogie avec la forme tourbillonnaire que prennent les courants d'eau lors de l'évacuation d'un récipient dont le fond est percé d'un orifice. Ces illustrations vont ainsi prendre souvent une valeur explicative du phénomène ou de la structure observée.

L'image mentale d'un concept théorique fonctionne de la même façon. Il n'est en effet pas possible de former une image qui serait totalement indépendante des sensations et des représentations antérieures du sujet. Ce propos est bien illustré par les difficultés à se représenter un objet dans un espace à quatre dimensions. Dans ce cas les scientifiques estiment plus efficace la stratégie qui consiste à refuser toute image mentale et à ne travailler que dans le langage mathématique.

Cependant pour Heisenberg[477], l'image mentale peut être « plus vraie que les développements mathématiques ou de façon plus générale que les tentatives de rationalisation ». Cette force de l'image mentale explique l'impossibilité de les refuser et l'importance que possède la production d'images dans la diffusion de la pensée scientifique. L'image du ballon qu'on gonfle ou du cake aux raisins a bien servi la Relativité Générale pour sa vulgarisation auprès du grand public.

Lorsque Slipher commence sa formation en astronomie, les dessins de Lord Rosse et la photographie de la Grande Nébuleuse d'Andromède par Isaac Roberts sont présents dans les ouvrages destinés aux étudiants. Ils vont sans doute influencer ses conceptions sur ces objets et, nous l'avons vu, lui faire accepter facilement la conception nébulaire de Laplace.

2.2.2. L'image support matériel des observations et des mesures.

C'est une pratique bien illustrée par l'exemple caractéristique de Vesto Slipher qui décèle une rotation dans une inclinaison des raies spectrales et une vitesse radiale dans le décalage par

[476] (Hentschel, 2000)
[477] Cité par Massart. Op. Cit.

rapport au spectre témoin. Enfin leurs attentes peuvent influencer leur jugement sur l'image, nous en avons vu de nombreux exemples précédemment avec Roberts croyant voir une rotation à la simple inspection de deux images de spirales ou van Maanen influencé dans l'analyse de ses mesures de mouvements propres. L'étude d'un texte de Vesto Slipher peut aussi nous éclairer :

> « The nebula NGC 4594[478] (-43 of Herschel's first catalog) in Virgo is of exceptional interest. Under good conditions it is a telescopic object of great beauty because of the intense black band which divides it longitudinally. It appears to be, and doubtless is, a nebula of the spiral class with its edge turned nearly toward us and its plane of greatest extension nearly coincident with the Earth equatorial plane. This dark lane strongly suggests that the times when the shadow cast across the ball of Saturn by its rings far from their planes, and indeed may have an analogous explanation as will be touched upon later. The nucleus of the nebula is bright and almost stellar. Secondary nuclei common to nebulae of this class appear to be wholly absent from this object."

Cette description de Messier 104 (encore appelé Sombrero) montre le rôle de l'analogie dans l'interprétation (parallèle avec l'observation de Saturne) et de la comparaison avec les observations antérieures : « secondary nuclei common to nebulae of this class… ». En réalité Slipher se réfère à la nébuleuse d'Andromède car la plupart des nébuleuses spirales n'ont pas de noyau secondaire (qui sont en réalité des galaxies satellites dans le cas de Messier 31).

L'interprétation de cette observation, faite probablement en 1913, nous montre que Slipher réalise une observation très fine de la nébuleuse (noyau central, bandes sombres, orientation de son plan parallèle à celui de l'équateur terrestre) et que son interprétation qui s'appuie sur des analogies est fortement sous-tendue par l'hypothèse laplacienne de la nébuleuse primitive : noyau central qui ressemble à un soleil, partie périphérique semblable aux anneaux de Saturne. Malgré l'absence de noyau secondaire[479] cette description est celle d'une nébuleuse protosolaire.

[478] Galaxie dite du Sombrero ; Messier 104.

[479] Interprété par Slipher comme des planètes en formation.

3. Les observations et les mesures de Vesto Slipher.

Le rôle de l'image ne se limite pas aux fonctions que nous avons vues précédemment au paragraphe 2.1.2. En effet, dans le cadre précis des travaux de Vesto Slipher, l'obtention d'une photographie du spectre de bonne qualité va permettre des mesures de vitesses radiales et de rotation. Nous analysons ici les observations réalisées par Slipher en cherchant à distinguer les différentes étapes significatives de ses recherches.

Dans une première étape, Slipher examine des spectres de nébuleuses spirales. L'examen de ces spectres constituait, comme nous l'avons vu, l'objectif suggéré par Lowell et auquel s'attache Slipher avec les conseils de E. Fath. Le but de ces observations se limite à une recherche sur leur nature gazeuse ou stellaire. Dès le départ Slipher pressent l'intérêt de ses observations spectroscopiques : « The spectra of these objects, it was recognized, should convey valuable information… » déclare-t-il en 1909.

Dans la première phase de cette étape, Slipher dispose d'une instrumentation et d'une « boite à outil » théorique comprenant notamment les lois de Kirchoff et Bunsen. Nous sommes ici dans la première phase décrite par Duhem[480] qui consiste à recueillir des faits qui nécessitent des qualités de savoir-faire et d'attention mais pas de connaissances théoriques très poussées. C'est une phase exploratoire selon Steinlé[481], dans laquelle les observations ne sont pas réalisées dans le but de tester une théorie mais d'augmenter et de parfaire notre connaissance d'un phénomène naturel modifié par un instrument, le spectroscope. La théorie mise en jeu ici, Heidelberger[482] propose de l'appeler « theory-guidance ». À l'issu de ces observations la conclusion de Slipher est que le spectre des premières nébuleuses spirales peut être classé dans le type stellaire. Au cours de cette phase exploratoire, Slipher observe que les raies du spectre sont décalées et inclinées ; l'étude de ces observations va faire l'objet de la longue seconde étape .

La seconde phase implique une interprétation des faits observés. Elle implique un niveau théorique supérieur dans une phase d'interprétation des faits observés qui, selon

[480] d'une façon plus générale les relations entre observation et théories sont développées en annexe 7.

[481] Cité par Heidelberger page 7. (Heidelberger, 2003). Ce document est disponible sur le site de l'auteur. Il est paginé de 1 à 15.

[482] Op. Cit. p. 8.

Duhem implique une théorie et un jugement. Ici Slipher se place dans le cadre théorique de la classification spectrale des étoiles mise au point par l'équipe de Harvard dirigée par Pickering. Cette interprétation théorique de l'observation constitue le fondement de ce que Heidelberger reconnaît au concept de « theory-ladenness », proposant d'utiliser celui de « theory-guidance » lorsqu'on envisage. La conclusion de Slipher est que le spectre de ces nébuleuses est plutôt de type K alors que le Soleil est du type G.

La seconde étape commence lorsque Slipher découvre que les raies spectrales sont à la fois décalées par rapport au spectre de référence et inclinées.

Dans une première phase que nous appèlerons phase de perception, c'est l'expérience de Slipher qui joue un rôle fondamental. Slipher voit ces anomalies en raison de son expérience antérieure tirée de l'étude des étoiles et de leur vitesse radiale et des planètes où il observe et mesure une vitesse de rotation. D'autres auraient pu penser que cette inclinaison pouvait être attribuée à quelque défaut de l'appareillage. Les anglophones utilisent le mot de « serendipity » pour parler de la découverte faite « par hasard » mais que la sagacité du scientifique permet de reconnaître comme fait signifiant afin d'en poursuivre l'étude. Richardson[483] attribue la découverte de la récession des nébuleuses spirales à la serendipity. Il est vrai que les observations initiales n'avaient pas pour but de vérifier une hypothèse sur les mouvements de ces objets mais d'étudier leur spectre dans le cadre des hypothèses sur la formation du système solaire. La question posée concernait la nature du spectre : nébuleuses gazeuses ou spectre de type solaire ? C'est bien en observant ce spectre que Slipher remarque le décalage des raies d'absorption ; mais est-ce par hasard ? D'une part Slipher connaissait bien le phénomène pour l'avoir étudié sur les planètes et les étoiles et, comme pour ces objets, il s'attendait à observer un déplacement des nébuleuses spirales. La surprise n'est pas venue de ce déplacement mais plutôt de sa vitesse anormalement élevée.

Le cadre théorique utilisé ici fait encore partie de la « boite à outil » et cette fois c'est la relation de Doppler-Fizeau qui est mise en œuvre. Là encore la théorie employée est de faible niveau.

La seconde phase de cette étape commence avec la recherche d'une loi gouvernant les mouvements des nébuleuses spirales. Elle implique la réalisation de mesures.

Slipher observe les photographies des spectres de la nébuleuse d'Andromède qu'il vient d'obtenir. Il constate qu'il existe un décalage par rapport au spectre de référence et

[483] Op. Cit. n°420.

suppose que cela doit correspondre à un déplacement sur la ligne de visée. Mais c'est en soi une information de portée limitée dans la mesure où, dès cette époque, on suppose que tous les corps célestes observés possèdent un tel mouvement[484]. Dire que la nébuleuse est en mouvement dans la ligne de visée n'a pas la richesse de la valeur de sa vitesse. La première préoccupation de Slipher concerne le spectre étalon. Une raie spectrale donnée est comparée avec la position d'une raie d'un spectre étalon (Fer-Vanadium). Elle est également comparée avec celle d'un spectre déjà connu, celui du Soleil réfléchi sur la planète Saturne. Il obtient un premier type de mesure dans laquelle l'objet à mesurer est juxtaposé à l'étalon. Cette première mesure est en effet une différence entre la position de la raie sur l'objet et sur le spectre étalon. Rapportée à la longueur d'onde connue de la raie étalon correspondante, il obtient un décalage relatif. À partir de cette distance il en déduit une nouvelle mesure, celle de la vitesse radiale. Cette mesure, du deuxième type, est tirée de la précédente par l'intermédiaire d'une loi physique, la relation de Doppler-Fizeau.

Cette mesure est multipliée sur autant de raies connues détectables dans le spectre de la nébuleuse (par exemple onze raies pour M 77). À cette occasion Slipher constate que le décalage absolu varie depuis la partie bleue du spectre jusqu'à la partie rouge. Cette progression lui permet de déclarer que ce décalage n'est pas un artefact produit par son instrumentation. Au contraire le décalage relatif est constant pour une même nébuleuse, avec une variation de moins de 20%. Cela le rassure sur la précision de ses mesures.

Slipher effectue une moyenne sur la totalité des décalages mesurés sur chaque raie, sans réaliser de calcul de l'intervalle de confiance. C'est à partir de la moyenne des décalages qu'il déduit la vitesse radiale de la nébuleuse. Il corrige enfin la valeur moyenne obtenue par la vitesse de la Terre et celle de son objet de référence, Saturne.

Rappelons la controverse avec Reynolds qui avait pointé les différences des mesures de vitesses d'un observateur à l'autre. Pour répondre Slipher recense les différentes valeurs publiées par les différents astronomes. Il estime que les vitesses radiales sont environ quinze fois plus grandes que celles des étoiles. Il divise alors leurs vitesses par 15. Il les compare alors aux meilleures mesures de vitesses radiales stellaires du moment et montre que les variations d'un observateur à un autre sont identiques pour les deux types d'objet : au maximum de 20% d'un observateur à l'autre.

[484] Encore que certains estimaient qu'au contraire les nébuleuses devaient être fixes puisque, si les astronomes avaient pu déterminer des mouvements propres des étoiles, ils avaient jusque là échoué à détecter des mouvements dans les nébuleuses.

Ce qu'apporte le mesure, c'est ici un nouveau paramètre qui va s'ajouter à ceux dont on dispose déjà pour ce type d'objet et qui va permettre de comparer différents objets. Les nébuleuses ont des vitesses radiales plus grandes que celles des étoiles. La valeur de la grandeur suggère plus que la simple affirmation qualitative du mouvement. Elle permet en effet de distinguer maintenant nettement cette nébuleuse spirale, des étoiles et même d'autres nébuleuses moins rapides qu'elles. Un autre élément important de cette mesure est qu'elle peut être reproduite, discutée voire contestée. La mesure a une valeur plus universelle que l'appréciation qualitative. Cependant la mesure n'est pas tout. Par exemple le fait de mesurer une vitesse de rotation ne dit encore rien sur la structure de la spirale ni sur les mouvements précis des constituants situés à l'intérieur.

Mais quelle est la place de la précision de la mesure de ces vitesses, jugée nécessaire par certains? À ce point de l'histoire des nébuleuses, elle est loin d'être indispensable. L'information apportée par Slipher est en effet qualitative. Les nébuleuses se déplacent, première information, et le font à grande vitesse, seconde information de nature différente. Slipher et ses collègues ont bien compris qu'il en était ainsi et que ce qui comptait c'était que ces vitesses étaient à peu près de trois à vingt-cinq fois plus élevées que celles des étoiles.

Mais la question de la précision apparaît très tôt dans le cas des nébuleuses. Slipher est obligé par la critique de Reynolds de s'expliquer et de montrer que ses mesures ont le même ordre de précision que celle obtenues avec les étoiles. Cette précision n'est cependant pas déterminante. Dans le cas des vitesses radiales, ce sera lorsque Hubble voudra établir une relation entre ces vitesses les distance des nébuleuses que la précision prendra toute son importance. En effet, de la constante de cette relation (dite de Hubble) on en déduit l'âge de l'Univers et les premières estimations de ce paramètre conduisaient malencontreusement à un âge de l'Univers inférieur à celui de la Terre, évalué alors assez précisément par les géologues. La question de la valeur de cette constante restera une préoccupation des astrophysiciens jusqu'à nos jours. En témoigne la quête incessante de la précision de la mesure des vitesses radiales aussi bien que des distances des nébuleuses. Ainsi la précision devient-elle nécessaire, comme le précise Michel Paty, lorsqu'il s'agit de vérifier une théorie à travers une formule. Dans la controverse sur la rotation des nébuleuses, la question de la précision des mesures a aussi été un élément capital. Van Maanen mesurait des écarts de l'ordre de 0,002 secondes d'arc, à la limite des possibilités des données (les plaques photographiques) et de l'appareillage. Ces données s'avèreront vite fausses et on retiendra

parmi les causes de ces erreurs, l'impossibilité de mesurer des séparations angulaires aussi infimes avec l'appareillage disponible.

Dans le cas des nébuleuses, les discordances observées d'un observateur à l'autre, interrogation soulevée par Reynolds, n'ont pas eu de retentissement car l'accord entre les mesures des différents astronomes leur paraissait suffisant pour une énonciation qualitative d'importance: les nébuleuses spirales se déplacent les unes par rapport aux autres à grande vitesse.

Néanmoins, la relative imprécision des mesures des premiers astrophysiciens, comparée à la grande précision des mesures des astronomes de position a été mise en avant par certains astronomes en place pour rejeter cette « nouvelle » astronomie. Les tenants de ce courant se défendent en comparant la précision de leurs mesures sur les nébuleuses avec celle portant sur les vitesses radiales des étoiles qu'ils jugent équivalentes. Ils considèrent également que l'étendue des mouvements qu'ils mesurent est telle que l'erreur de mesure ne remet pas en cause leurs conclusions. Cependant ils cherchent à améliorer en permanence cette précision et y parviennent progressivement.

Nous avons vu au paragraphe 3.5.1. comment Slipher effectue ses mesures en analysant plusieurs raies spectrales d'une même nébuleuse. La moyenne seule est publiée, sans intervalle de confiance. Ce qui est surprenant, c'est que dans ses études sur la rotation de la planète Mars et de la Lune il calcule et publie un intervalle de confiance. C'est aussi ce qu'il fait dans ses études sur les étoiles dites standard. Slipher présente en effet pour chaque étoile, non seulement les moyennes de leurs décalages, mais aussi l'écart type. Il est donc incontestable que Slipher connaissait et savait utiliser ces méthodes de calcul. Nous avons alors recherché si d'autres astronomes avaient présenté des résultats statistiques mais aucun ne l'avait fait. Pourquoi ne les utilisaient-ils pas pour les nébuleuses ? Aucun élément de la littérature de l'époque ne nous permet de répondre à cette question. Il est possible qu'en ce qui concerne les étoiles, la pression des astronomes dits « de position » très pointilleux sur la précision des mesures, ait rendu ces calculs nécessaires afin que les travaux soient acceptés pour publication. Au contraire dans la question des nébuleuses, ce qui importait alors, c'était plus l'ordre de grandeur que la valeur précise de la mesure.

Lorsqu'il effectue des comparaisons de vitesses, que ce soit par rapport au plan galactique ou selon l'angle d'inclinaison, là non plus aucun calcul d'erreurs n'est publié. Dans ce dernier cas nous observons d'abord que Slipher effectue la moyenne des valeurs absolues, puisqu'il ne s'intéresse ici qu'au mouvement dans l'éther et que la direction du déplacement

importe peu. Les calculs d'intervalle de confiance que nous avons réalisés montrent que les différences ne sont pas statistiquement significatives. Ces méthodes statistiques étaient-elles disponibles pour Slipher ? En vérité les scientifiques connaissent les calculs d'erreurs depuis Laplace et Gauss en Europe. Les tests statistiques employés de nos jours, plus tardifs, sont disponibles du temps de Slipher. Par exemple, le test de Student[485] dû à William S. Gosset (1876-1937) date de 1908 et le test du Khi² de Karl Pearson (1857-1936) de 1893. Cependant leur utilisation est exceptionnelle en astronomie, aux U.S.A, dans le premier quart du XXe siècle.

Dans les lignes qui vont suivre nous allons examiner le statut de la mesure en astronomie afin d'essayer de rendre compte de la spécificité ou non de la mesure dans le cadre de l'étude nouvelle des nébuleuses spirales.

Dans la **troisième étape** Slipher relie les différentes observations et construit une hypothèse quant à la nature des nébuleuses spirales. Slipher connaît les hypothèses de Laplace, de Chamberlain et de Moulton et celles-ci vont le guider dans ses interprétations. Enfin ces observations se situent dans des théories générales de l'univers qui se partagent entre l'hypothèse d'un univers compact formé de tous les objets visibles rassemblés en un seul ensemble : la Galaxie et la théorie des univers-îles issue de Kant.

La **quatrième étape** prend en compte à la fois les éléments qui sont en contradiction avec l'hypothèse nébulaire mais aussi une nouvelle étude.

4. L'objet « galaxie », le rôle des modèles.

Après avoir analysé les différentes méthodes instrumentales utilisées par Vesto Slipher au début du XXe siècle et les rôles dévolus à l'image et à la mesure, nous examinons plus synthétiquement la constitution progressive de ce nouvel objet qu'il commence à appeler du nom générique de « galaxies » par référence à notre Galaxie. Nous replacerons ensuite les travaux de Slipher dans un cadre plus général en utilisant le concept de modèle pour analyser le passage des nébuleuses aux galaxies.

[485] Student est son nom de plume.

4.1. Évolution des hypothèses cosmologiques de Slipher.

Ces hypothèses nous sont connues grâce à sa correspondance, aux notes personnelles préalables à ses publications et par les articles eux-mêmes[486].

Avant 1913 on connaît des nébuleuses leurs aspects au télescope et leur spectre de type stellaire. Slipher apporte de nouvelles connaissances qui vont lui permettre de formuler des hypothèses quant à leur nature.

On peut distinguer deux époques dans les hypothèses de Slipher qui dépendent de la progression de ses études.

4.1.1. Première période (1913-1916): Les spirales sont des nébuleuses protostellaires.

Quand il commence ses travaux spectroscopiques sur les nébuleuses spirales, ses connaissances lui permettaient de prévoir qu'elles pourraient prendre deux aspects différents, soit la forme de nébuleuses gazeuses, telles que Huggins les avait décrites à propos de la nébuleuse de la constellation Draco, soit des aspects stellaires comme Scheiner et Fath semblaient l'indiquer. En fait, il observe un spectre de type stellaire avec des raies en absorption mais aussi quelques raies en émission. Il lui semble aussi observer des bandes, mais après discussion avec Fath, il admet que cet aspect particulier correspond plus probablement à un défaut de résolution spectrale.

Une nébuleuse primitive.

Dans son premier article publié en 1913, Slipher déclare qu'il y a actuellement deux théories à propos des spirales. Celle de Scheiner et de Fath qu'il appelle la « *star cluster theory* » ou des univers-îles, et la sienne, qu'il vient d'imaginer, celle de la nébuleuse par réflexion. Il dispose en effet de plusieurs éléments nouveaux concernant les spirales. Leur spectre est plutôt de type stellaire même s'il persiste quelques cas pour lesquels les spectres restent encore

[486] Nous étudierons plus en détail le processus d'élaboration de Slipher dans le paragraphe 4.4

imprécis: « *Observations of the Great Andromeda nebula show its spectrum to be, on the other hand, of a pure stellar type very closely approximating to that of the Sun; in short a spectrum unlike what we would expect if the central part of the nebula be a cluster of stars.*[487] ». Ce spectre est homogène. Il n'est pas constitué d'un mélange de différents spectres d'étoiles plus ou moins évoluées, comme celui des amas globulaires. Par ailleurs il a découvert que la nébuleuse qui accompagne les Pléiades a le même spectre que les étoiles qui composent cet amas. Il a donc fait l'hypothèse qu'il s'agit d'une nébuleuse formée de gaz et de poussières éclairées par les étoiles (nébuleuse par réflexion). De ces diverses constatations, Slipher en déduit que la nébuleuse d'Andromède pourrait être, elle aussi, une nébuleuse par réflexion. Le noyau lumineux situé au centre de la spirale serait une étoile jeune très brillante qui éclairerait la partie périphérique faite de gaz et de poussières[488].

Lorsqu'il découvre qu'elle se rapproche du système solaire à la vitesse très grande de 300 km/s, il pense en outre avoir trouvé une explication pour la nova de 1885[489]. Il estime que le « voyage » à grande vitesse de la nébuleuse, objet de grande dimension, lui a permis de rencontrer sur son chemin une étoile noire[490] et ce contact aurait « éclairé » l'étoile jusqu'ici non visible[491]. Cette hypothèse montre que pour Slipher, en 1913, les nébuleuses spirales ne sont pas des objets composés d'étoiles; d'ailleurs les télescopes ne permettent pas alors de les résoudre en étoiles.

Toutes ces hypothèses nous sont connues grâce à la correspondance suivie que Slipher entretient avec son ancien professeur John Miller, qui reste son confident. Deux longues lettres de Slipher et la réponse de Miller[492] nous en apprennent beaucoup, à la fois sur l'état d'avancement de ses travaux et sur les hypothèses qu'il élabore à partir de ses observations. Au printemps 1913 il a remarqué que les raies spectrales étaient inclinées témoignant d'un mouvement de rotation. Cela l'amène à admettre que ces spirales sont des systèmes de protoétoiles dont la partie périphérique devrait conduire à former des planètes. Ainsi,

---

[487] Working papers. Folder 4-5 ; document n°9. LOA.

[488] Ce point de vue a été critiquée par Crommelin mais il avait interprété l'hypothèse de Slipher comme la réflexion de l'image d'une étoile sur un miroir et ne comprenait pas comment cela pouvait expliquer les observations des Pléiades et de la nébuleuse d'Andromède.

[489] (Slipher, 1913a)

[490] Les étoiles noires seraient des étoiles de la taille du Soleil mais obscures .

[491] Annexe 3.1.1.

[492] Lettres de Vesto M. Slipher à John Miller du 16/5/1913 et du 2/7/1913 et lettre de John Miller à Vesto M. Slipher du 9 juin 1913. LAO.

l'hypothèse de la nébuleuse primitive de Laplace se trouverait confirmée[493]. Quelques mesures de rotation viennent renforcer cette première déduction. Pour lui, si ces nébuleuses sont formées d'une étoile centrale entourée de matière finement divisée avec quelques noyaux secondaires, alors les observations spectrales et leur aspect photographique sont expliqués de façon satisfaisante. C'est le triomphe de l'hypothèse nébulaire[494]. Restent à expliquer ses récentes observations de bandes sombres observées sur les spirales vues de profil. Pour lui, elles ne correspondent pas à une ombre, comme celle des anneaux de Saturne sur le corps de la planète, mais plutôt à des nuages de poussières.

Il réalise cependant que l'hypothèse de l'illumination, qui marche si bien pour les Pléiades, n'explique pas la totalité des phénomènes observés sur les spirales. Il y a encore de nombreuses discordances entre les observations et les hypothèses. Il reste surtout que la physique n'explique pas encore ce phénomène d'illumination.

À vrai dire, l'hypothèse de Laplace qui avait eu son heure de gloire était mise à mal. Les critiques étaient d'abord venues de Jacques Babinet (1794-1872) puis de Daniel Kirkwood (1814-1895) en 1864, avant que Chamberlin et Moulton se livrent dès 1900 à une nouvelle critique étayée avec les données observationnelles de leur époque et les lois de la conservation du moment cinétique. Une excellente synthèse de ces critiques était publiée en 1906 par l'astronome Robert Aitken (1864-1951)[495].

Slipher, dès 1914 semble déjà marquer une préférence pour l'hypothèse de Chamberlin et Moulton sur celle de Laplace, comme en témoigne une lettre à Max Wolf[496] : Even now it does not seem possible to me that such a body could in itself have so great a speed of rotation, but the enormous velocity of this nebula[497] should greatly increase its chance of receiving a rotational impulse from the near approach to a star along its path. Indeed observational evidence is now perhaps more favourable to the Chamberlin-Moulton theory of the formation of such nebulae. I wonder if they are not disintegrating; their high velocities, according to the Kapteyn-Campbell discovery of relation of spectral type and radial velocity of the stars, would make them ought to be very old, <u>if</u> the common view as to age and spectral type is the correct one.

---

[493] Voir l'annexe 1.4.

[494] Cette hypothèse est partagée par Reynolds en 1913, dans un article où il étudie l'éclat en fonction de la distance au centre. (Reynolds, 1913)

[495] (Aitken, 1906)

[496] Lettre de Vesto Slipher à Max Wolf du 17/07/1914. LOA.

[497] N.G.C. 4594.

Que les spirales soient des nébuleuses avec formation d'étoiles est aussi l'opinion de James Jeans, le grand théoricien anglais déjà cité. Il décrit sa théorie en décembre 1916[498] après avoir lu le premier article de van Maanen qui lui semble apporter un argument observationnel en sa faveur.

Des observations contradictoires.

Un des éléments discordants provient de l'hypothèse de l'étoile centrale. En effet, la présence d'une étoile centrale justifie que les spectres de ces spirales soient classés comme ceux des autres étoiles. La classification de Lockyer et celle développée plus récemment à Harvard par l'équipe de Pickering est alors utilisée. Selon cette classification il existe une relation évolutive depuis les étoiles de classe B, les moins évoluées, jusqu'aux étoiles de classe M, les plus évoluées. Cette notion d'évolution est reliée à la notion d'un âge de l'étoile. Slipher emprunte donc l'hypothèse de ces spécialistes des étoiles qui relie le type spectral à l'âge de l'étoile. Les nébuleuses sont de type K, plus « tardives » que le Soleil de type G. Cela ferait donc de ces spirales des objets évolués. Slipher ne manque pas de remarquer que cette observation ne cadre pas avec l'hypothèse d'une nébuleuse protostellaire dans laquelle l'étoile devrait naturellement être de type précoce si elle correspondait à une étoile en formation (cf. la lettre à Wolf citée plus haut[499]).

Un second argument lui est suggéré par John Miller[500]. Il lui fait part d'une hypothèse de Campbell[501] qui pense que les étoiles qui possèdent les vitesses radiales les plus grandes sont les plus avancées[502]. Cette relation est bien acceptée en 1915 comme le prouve par exemple l'article de synthèse de R.E. Wilson[503]. Les astronomes pensent qu'à leur naissance les étoiles sont dénuées de mouvement et que leur vitesse radiale augmente avec leur évolution. En comparant les vitesses des étoiles à celles des spirales, il faut en déduire que celles-ci seraient bien plus vieilles que les étoiles les plus vieilles : «*The velocity of the spirals*

---

[498] (Jeans, 1917). Il s'appuie sur les travaux de Roche et estime qu'une masse dense va devenir de plus en plus plate et que sous les effets de marée des corps voisins elle va abandonner des bras dans lesquels se forment des étoiles. Compte tenu des observations de van Maanen il en déduit la masse de la nébuleuse et le rythme de la production d'étoiles.

[499] Ce document est également reproduit dans le volume d'archives.

[500] Lettre John Miller à Vesto M. Slipher du 9 juin 1913. LAO.

[501] L'article en question date de 1910

[502] Campbell a établi cette relation en 1910 (Campbell, 1910) et la relation est synthétisée par (Waterman, 1913)

[503] (Wilson, 1915b). Il n'existe aucune raison à cette constatation empirique.

would make them very old if age is figured on Campbell-Kapteyn discovery of increase stellar velocity with advance in spectral type[504]*.''*

Les deux hypothèses, celle de Campbell et celle de Slipher sont donc contradictoires. Cependant Slipher remarque que si les nébuleuses spirales ont l'origine que Chamberlin et Moulton[505] leur assignent, c'est à dire une collision entre deux étoiles, il n'est plus possible de faire d'hypothèse sur l'âge des nébuleuses. En effet leurs caractéristiques spectrales seraient celles des étoiles qui les ont formées[506]. Ainsi, rien ne s'oppose à retenir l'hypothèse nébulaire. Il est intéressant de noter que John Duncan est lui aussi troublé par la contradiction entre l'hypothèse de Campbell et celle de Slipher[507]. Mettant en relation les vitesses radiales des nébuleuses gazeuses mesurées par Keeler, la relation trouvée par Campbell entre vitesse radiale et type spectral des étoiles et la vitesse de la nébuleuse d'Andromède, il met en cause la théorie de l'évolution stellaire : « seem to indicate an error in the accepted order of stellar evolution. »

À cette période, pour Slipher, les nébuleuses spirales ne peuvent pas être des galaxies d'étoiles[508]. Pour cela, il utilise un argument tiré des amas globulaires ainsi qu'il le note sur un document manuscrit daté du 21 janvier 1913: « If the Andromeda nebula were a galaxy of stars we expect to contain stars of various types and the resulting spectrum not to be so predominantly one type… ». On devrait, dans cette hypothèse, avoir des types spectraux combinés dans les spirales comme dans les amas globulaires.

L'hypothèse de la nébuleuse par réflexion intéresse les autres astronomes[509] comme le rapporte John Duncan « I talked with Barnard and Kapteyn, however and they both think well of your reflected light theory rather to my surprise for the question of the great light-power of the central star seemed to me a rather serious one." Et cela les amène à discuter de la distance de ces objets: "Schlesinger, in discussing the matter, said that he believed Bohlin's value of the parallax of the Andromeda nebula is much too large". Bohlin, nous l'avons vu, avait en effet estimé sa parallaxe à 0.''17 (soit 19 a.l.)

Un déplacement dans l'éther ?

---

[504] Working papers. Folder 4-5 ; document n°10. LOA.

[505] Pour plus de détails sur les hypothèses de Laplace, Chamberlin, Moulton et Jeans voir l'annexe 4.

[506] Dans ce cas leurs vitesses radiales seraient indépendantes de leur degré d'évolution. Slipher n'évoque pas cette contradiction.

[507] Lettre de John Duncan à Vesto Slipher du 17/7/1913. LAO.

[508] Vesto M. Slipher. Working papers. Folder 4.5 Document n°12. LAO

[509] Lettre de John Duncan à Vesto M. Slipher du 9/5/1913 . LAO.

En poursuivant ses mesures de vitesse radiale, Slipher remarque que la vitesse radiale semble dépendre de l'angle d'inclinaison du disque de la spirale. Ainsi propose-t-il que le déplacement du disque se fasse au sein d'un milieu résistant: les spirales vues par la tranche auraient ainsi la plus grande vitesse dans la direction de l'observation. Elle serait plus faible lorsqu'elles sont vues de face et intermédiaire dans les cas inclinés. Il en fait part à Hertzsprung[510]: « whether or not the spiral moves edge forward as a disk in a resisting medium ». En fait cette impression ne sera pas confirmée par la répétition des observations et K. Lundmark (1889-1958) démontrera en 1925, grâce aux quarante-quatre mesures réalisées par Vesto Slipher, qu'il n'existe pas de relation statistique entre vitesse radiale et inclinaison[511].

La « drift hypothesis »

À l'aide d'un plus grand nombre de nébuleuses dont la vitesse radiale a été mesurée, Slipher observe que celles qui se rapprochent (vitesses négatives) sont toutes dans la partie sud du plan galactique, avec seulement quelques vitesses positives, alors que dans sa partie nord, les vitesses sont toutes positives (éloignement). Ces données sont confirmées par Wolf. Slipher pense avoir ainsi découvert que le courant des spirales traverse le plan galactique qui serait ainsi fixe. Les spirales qui s'éloignent auraient déjà traversé le plan de la Voie Lactée alors que les autres s'apprêteraient à le faire. Il espère que de nouvelles mesures viendront confirmer ces premières observations. C'est le contraire qui se produit, car à mesure que les études avancent, au cours de l'année 1917, cette hypothèse ne se confirme pas : la plus grande partie des spirales sont en récession. Néanmoins il conserve l'idée d'un mouvement général des spirales par rapport à la Voie Lactée.

La zone d'évitement[512].

Slipher s'interroge enfin sur la question de la zone d'évitement de la Voie Lactée par les spirales que Proctor[513] a mise en évidence: « … must mean some mutually repelant influence, or in other words the two are related and the spirals cannot therefore be at such enormous distances beyond the Galaxy as Very has been lately suggesting." Les spirales sont donc, pour Slipher, des objets intra galactiques

[510] Lettre de Vesto M. Slipher à Ejnar Hertzsprung du 8/5/1914. LAO.

[511] (Lundmark, 1925)

[512] Il y a très peu de spirales à proximité de la Voie Lactée. Voir annexe 3.3

[513] (Proctor, 1869)

qui subissent un effet de répulsion gravitationnel de la part de la Voie Lactée qui les écarte de ce plan.

4.1.2. Seconde époque (1917-1925) : les nébuleuses spirales sont des galaxies.

Les nébuleuses spirales, des galaxies en récession ?

Dans une note écrite en probablement en novembre 1917, Slipher recense les arguments en faveur et contre l'hypothèse des spirales comme amas d'étoiles[514]. Comme argument contre il retient la parallaxe mesurée par Bohlin (19,7 a.l.), l'absence de mélanges de différents types spectraux, les vitesses radiales, la présence des bandes sombres et comme argument en faveur de cette hypothèse: d'autres mesures de parallaxes qui donnent des distances plus éloignées, la présence de novae, l'apparence générale et … la vitesse radiale.

Progressivement, à partir de 1917 il abandonne l'hypothèse des spirales comme nébuleuses protostellaires. Nous avons vu que plusieurs d'observations contredisaient cette hypothèse. Slipher déclare que si les étoiles sont nées de nébuleuses ce n'est sûrement pas à partir de nébuleuses de type spiral. En effet, dès la fin de l'année 1916[515], Slipher se pose, avec d'autres astronomes, une question fondamentale : quelle est la part du mouvement du système solaire dans le déplacement observé ? En effet, Slipher estime que ce qui est en jeu est bien une vitesse relative entre plusieurs objets qui sont tous en mouvement : Soleil par rapport aux étoiles de la Voie Lactée, déplacement de la Voie Lactée et mouvement des nébuleuses. Il connaît les travaux de Campbell et ceux de C.D. Perrine [516], qui ont montré que le système solaire se déplace par rapport à des étoiles de référence situées de part et d'autre du Soleil dans une direction appelée l'apex à la vitesse de 19,5 km/s. Qu'en est-il de la contribution de ce déplacement par rapport aux nébuleuses, sachant que parmi ces dernières, certaines ont une vitesse négative et d'autres, plus nombreuses, une vitesse positive? Dans un premier temps il estime que ses données sont insuffisantes pour de tels calculs, comme en témoigne une lettre adressée à Campbell[517] : « The apparent relative drift between the spirals observed

[514] Working papers. Folder 4-7. Document n°20. LOA.

[515] Bien décrit dans son article « Nébulae » (Slipher, 1917a)

[516] (Perrine, 1916)

[517] Lettre de Vesto M. Slipher à William Campbell du 18/12/1916. LAO.

and our stellar system to which I called attention in 1914 is showed by the additional objects since observed. The material, however, is yet too scarcely and particularly its distribution too poor to give anything of value for the magnitude and direction of the drift." Cependant on trouve dans ses papiers de travail[518] les calculs qu'il a lui-même effectués à partir de 24 objets, pour calculer la direction de l'apex qu'il trouve à « dec : -21°56'and apex RA : 21h8m»[519].

Il envoie aussi [520] à une calculatrice qui travaille pour Lowell à Boston, Elisabeth William, les vitesses et positions de 24 nébuleuses spirales afin qu'elle recherche une solution par la méthode des moindres carrés. Il se pose deux questions : (1) Y a-t-il des vitesses différentes selon la position des nébuleuses sur la sphère céleste, et (2) quelle est la direction de l'apex et la vitesse relative du système solaire par rapport aux nébuleuses ? Le 3 avril 1917, Elisabeth William donne à Slipher une première solution sous la forme des coordonnées de l'apex calculées à partir des nébuleuses: ascension droite: 24h et déclinaison: -15°. Avec ces objets comme référence, le déplacement du Soleil se fait donc dans une direction différente de celle qui est mesurée avec le repère des étoiles, et à la vitesse de 700 km/s. En comparant les mouvements du système solaire relativement aux étoiles d'une part, relativement aux nébuleuses d'autre part, Slipher en déduit que le système solaire se déplace de conserve avec les étoiles et forme donc avec ces dernières un ensemble lié. Ainsi toutes les étoiles se trouvent-elles considérées comme associées dans un même objet, la Galaxie. Vesto Slipher écrit[521]: « … the spiral nebulae are stellar systems seen at great distances » et nous voyons «… the Milky Way as a great spiral nebula which we see from within. » À partir de ces résultats, Slipher change d'avis et estime avoir des arguments suffisants pour faire de ces spirales des galaxies qui non seulement s'éloignent (en majorité) du système solaire mais encore s'éloignent les unes des autres. En effet, il remarque que leurs vitesses sont en moyenne positives et dirigées dans presque toutes les directions de l'espace. Le fait que des spirales contenues dans une région limitée du ciel puissent avoir des vitesses radiales très différentes confirme aussi cette hypothèse. Cependant Slipher fait remarquer aussitôt que l'observation d'amas de spirales semble contredire cette hypothèse[522].

---

[518] Working papers. Dossier 4.16. LOA.

[519] Déclinaison : -21°56' et ascension droite : 21 h 8 m.

[520] Lettre de Vesto M. Slipher à Elisabeth William du 28/3/1917. LAO.

[521] Slipher V.M. (1917) p 409 Op. Cit.

[522] En réalité il ne mesure que les vitesses d'objets proches car ce sont les seuls dont la dimension et l'éclat sont suffisants pour les mesures des vitesses radiales. Ainsi certaines de ces galaxies sont en interaction gravitationnelle avec notre galaxie. Avec l'amélioration des techniques, des galaxies plus lointaines seront

Un astronome européen travaille aussi sur ce sujet, le Strasbourgeois Carl Wilhelm Wirtz (1876-1939). Mais, en raison de la première guerre mondiale, ses travaux sont indépendants de ceux réalisés aux États-Unis. Il ne dispose de ce fait que de très peu de vitesses radiales, celles mesurées par des astronomes européens ainsi que les toutes premières mesures de Slipher, réalisées avant le début du conflit. Il n'empêche que ses conclusions sont très voisines[523]. Il est un des premiers à envisager, comme l'a fait Slipher, la possibilité d'une réelle expansion des nébuleuses spirales

Cette importante question est également abordée par deux astronomes canadiens, R.K.Young (1866-1977)[524] et W.E. Harper en 1916[525]. Dans l'introduction de leur article, ils considèrent que si l'hypothèse des univers-îles s'avérait exacte alors notre Galaxie, prise comme une nébuleuse spirale parmi d'autres, se déplacerait dans l'espace à des vitesses du même ordre que ses compagnes. La vitesse et l'apex par rapport aux nébuleuses qu'ils proposent ne sont pas très différents de ceux de Slipher. Truman[526] publie des résultats identiques. Pour sa part Paddock [527], toujours en 1916, utilise les 15 mesures de vitesses radiales de Slipher auxquelles il ajoute celles de Wilson sur les Nuages de Magellan[528] (galaxies proches de la Voie Lactée). Il fait également remarquer que les spirales pourraient être en récession les unes par rapport aux autres. En conséquence il faut introduire (comme l'a fait Campbell[529] en 1910 puis Perrine avec les étoiles) un paramètre K[530] qui prend en compte, «…the expanding or systematic component whether there be actual expansion[531] or a term in the spectroscopic line displacement not due to velocities» Ce terme, dont la signification physique n'est pas connue, proposé par Wirtz[532] et Paddock[533], sera utilisé par les cosmologistes et par Hubble pour

---

mesurées avec des vitesses plus grandes. En 1917 Slipher n'a pas encore mesuré beaucoup de grandes vitesses radiales.

[523] (Wirtz, 1924)

[524] Il vécu réellement 111 ans.

[525] (Young and Harper, 1916)

[526] (Truman, 1916)

[527] (Paddock, 1916)

[528] (Wilson, 1915a)

[529] (Campbell, 1910)

[530] Pour une histoire du paramètre K voir l'annexe 3.7.

[531] Le terme d'expansion pour parler des mouvements relatifs des nébuleuses spirales est utilisé dès 1916 par les astronomes (Paddock, Wirtz en particulier)

[532] Op. Cit. N° 298

[533] (Paddock, 1916)

mesurer le taux d'expansion. Mais pour l'instant les astronomes interprètent le décalage observé comme une vitesse d'objets en mouvements relatifs. Paddock introduit deux autres explications possibles: une expansion[534] mais aussi des phénomènes physiques comme des forces de pression ou la gravitation, sources d'un décalage des raies spectrales, contenu dans le paramètre K .

Reprenant une généralisation de l'hypothèse nébulaire de Laplace qui ferait des nébuleuses spirales des systèmes solaires en formation, Slipher déclare[535] : «it seems that, if our solar system evolved from a nebula as we have long believed, that nebula was probably not one of the class of spirals here dealt with. » Les nébuleuses spirales ne sont donc plus, pour Slipher, des systèmes solaires en formation mais des univers-îles. Cette remarque, il est le premier à la faire de façon aussi précise : « this theory, it seems to me, gains favor in the present observations. »

Des amas galactiques.

On doit à Slipher une autre observation importante, celle des amas galactiques. Dans son article de 1917 sur le spectre et la vitesse radiale de M77 puis, plus précisément encore, dans une lettre à Arthur Eddington [536] et enfin dans l'article de 1922 cité ci-dessous, il propose une nouvelle hypothèse, celle de l'existence d'amas galactiques : "You will notice that those velocities that are approaching us are pretty closely grouped, also that in Cetus is a group of three that are receding with very high speed. It will be interesting to see what additional evidence can be found bearing on this suggestion of group motion. There is a hint of such group motion among the clusters, but here again more observational data are much needed." Dans son article de 1922 [537] il décrit deux galaxies : NGC 5195 et 5194 dans les Chiens de chasse dont l'aspect photographique suggère une interaction. Vesto Slipher apporte un argument supplémentaire en faveur de cette hypothèse en montrant que ces deux objets spiraux possèdent la même vitesse. Il avait également montré que la nébuleuse (N.G.C. 221) qui accompagne la Nébuleuse d'Andromède possédait la même vitesse qu'elle. On peut donc considérer que Slipher est le premier à évoquer le concept d'amas galactiques.

---

[534] Ce terme n'est pas utilisé alors au sens qu'on lui donne aujourd'hui. Bien que les auteurs utilisent le mot « expanding », le terme récession serait plus propre à caractériser leur pensée. Les applications cosmologiques de la théorie de le Relativité due à Einstein et à de Sitter sont publiées en 1917, postérieurement à la rédaction de ces articles.

[535] Slipher V.M. (1917) p 409. Op. cit.

[536] Lettre de Veto M. Slipher à Arthur Eddington du 7/2/1922. LAO.

[537] (Slipher, 1922)

On sait par ailleurs que cela a pu être, pour Slipher, un argument contre l'expansion des spirales les unes par rapport aux autres.

Une galaxie très lointaine ?

En 1921, à la suite de l'observation de nébuleuses dotées d'une très grande vitesse radiale et des travaux récents des géologues qui déterminent un âge de la Terre, Slipher se hasarde à une estimation de la distance de NGC 584. Si, en effet, au moment où la Terre se formait, les nébuleuses étaient rassemblées avec la Galaxie, à la vitesse de 2000 km/s, la spirale NGC 584 devrait aujourd'hui se trouver à plusieurs millions d'années lumière du système solaire ; donc hors de notre Galaxie[538].

Il appartiendra à Hubble de confirmer ces hypothèses, d'abord en mesurant, en 1924, la distance de la grande nébuleuse d'Andromède et ensuite en établissant en 1929 la relation vitesse-distance qui porte son nom.

Conséquences des découvertes : vers la complexité.

Au cours du XXe siècle s'est développée la notion de complexité. Souvent confondue avec celle de complication, il est nécessaire de préciser ce qui distingue les deux dénominations[539]. Dans le cas d'un objet compliqué, il est toujours possible de prédire une évolution, un devenir. Les seules limites sont celles des instruments et des calculs. Dans le cas d'un objet complexe, « l'observateur sait a priori qu'il ne connaît ni la liste de tous les états possibles, ni tous les programmes qui permettent d'atteindre ces états ». Le Moigne[540] fait remarquer que l'imprévisibilité ne signifie pas que l'objet ne soit pas intelligible. Richard Feynman[541] montre que c'est la complexité qui fait la différence entre une loi du type de celle de Newton F = ma et celle qui gouverne la force de résistance à la pénétration dans l'air d'un avion: « La différence n'est pas que c'est empirique, mais que, lorque nous comprenons la nature, cette loi est le résultat d'une énorme complexité d'événements… Si nous continuons de l'étudier de plus en plus, mesurant de plus en plus précisément, la loi va devenir de plus en plus compliquée, et non le contraire… »

---

[538] Article publié dans le new York Times (Slipher, 1921a)

[539] Empruntées à (Le Moigne, 1999) , p 205-215.

[540] (Le Moigne, 1999)

[541] (Feynman, 1999) p 161.

Slipher et ses collègues, par leurs travaux, transforment un objet imprécis, compliqué en un problème complexe. Les nébuleuses sont en effet des objets flous et imprécis mais relativement simples pour Messier par exemple. La première complication vient des télescopes de Herschel qui les séparent en plusieurs catégories et permettent de d'évoquer la possibilité qu'elles soient toutes des amas stellaires. Un second degré de complication vient de l'isolement du groupe des nébuleuses spirales tant par les dessins de Lord Rosse que par les premières photographies qui suggèrent une rotation.

Lorsque Slipher estime que la nébuleuse spirale illustre la théorie de la nébuleuse primitive de Laplace, l'objet n'est encore que compliqué. En effet elle prédit la rotation, la fragmentation en anneaux et, à partir d'elles, la formation de planètes et de satellites. Il lui semble que tout concorde parfaitement. L'objet reste compliqué du fait des limites techniques à ses observations, mais il estime, et ses collègues avec lui, que ces difficultés trouveront une solution prochaine. Le passage à la théorie de Chamberlin et Moulton ne change rien au caractère compliqué de l'objet. Le cas du problème à trois corps, par exemple, illustre cette conception. Malgré le caractère « compliqué » de ce problème en mécanique céleste, Le Verrier a pu prédire, par le calcul, l'existence et la position exacte de la planète Neptune.

Progressivement l'objet apparaît de plus en plus comme devant être qualifié de complexe, car tous ses états ne sont pas prévisibles, en particulier son origine, son devenir et son fonctionnement qui font appel à des concepts théoriques encore mal précisés. Leur rotation avérée, en particulier, suggère de nouvelles questions sur le devenir à long terme de la matière qu'elles contiennent : est-elle éjectée dans l'espace ? Et s'il en est ainsi, alors les différentes formes de spirales correspondent peut-être à des étapes de leur évolution, d'où les termes de spirales précoces et tardives défendus plus tard par Hubble. Les spirales à gros noyau central seraient précoces. En perdant de la matière par leurs bras, le noyau diminuerait de volume pour disparaître dans les spirales tardives. Plus tard encore, la situation extragalactique de ces nébuleuses, la découverte de spirales de plus en plus éloignées et la constatation d'une vitesse proportionnelle à la distance, en font des objets encore plus complexes. Se posent en effet les questions cruciales de leur origine et de leur devenir. La dynamique interne des galaxies commence seulement à être comprise dans les années cinquante avec B. Lindblad[542], mais il persiste d'importantes inconnues comme par exemple la matière sombre. Les relations entre les différents paramètres ne paraissent pas linéaires et il semble que les conditions initiales pourraient jouer un rôle fondamental dans l'évolution de

[542] Ce développement a été décrit au chapître sur la rotation des nébuleuses.

ces objets. Mais cet objet complexe est intelligible, notamment à travers des modèles phénoménologiques informatisés qu'il est possible de manipuler avec succès, en particulier lorsqu'on souhaite comprendre le résultat des collisions entre galaxies, la formation de barres ou les ondes de densité.

Enfin, cette question s'est vite intriquée dans un problème plus vaste, celui de la cosmologie. Mais on change là de domaine, passant de l'astrophysique à la cosmologie, c'est à dire du multiple à l'unique : l'Univers considéré comme un tout où les galaxies ne sont qu'un des éléments observables à côté du fond diffus cosmologique. La théorie de la relativité générale qui sert de cadre à notre conception actuelle de l'Univers, suppose des paramètres dits « libres » comme la matière sombre et l'énergie sombre ou la constante cosmologique. Il faut alors développer des observations de plus en plus nombreuses et compliquées pour réduire ces paramètres[543].

Avec cette complexité de l'objet d'étude, les tentatives de compréhension, associant théories et observations, passent par un mécanisme de représentations qui tient compte de leurs imperfections des incertitudes qui persistent. La modélisation, même si elle n'est pas encore théorisée, représente bien ces efforts d'éclaircissement et d'appréhension de cet objet complexe.

4.2. Modélisation des connaissances sur les nébuleuses.

Le passage des nébuleuses aux galaxies associe des hypothèses plus ou moins fortes, des impressions (comme celles tirées de la forme spiralée de cet objet), voire des croyances, des conceptions[544] qui sont mises en relation avec les observations. C'est en effet le rôle de l'observation, dans les sciences, que de faire « parler la nature » et cela est particulièrement vrai en astronomie. Cette mise en relation implique des instruments pour lesquels l'implication de l'observateur est double : au moment de leur conception mais aussi lors de l'interprétation des signes qu'ils délivrent. Les astronomes transforment en faits ces différents signes qu'ils traduisent sous forme de déclarations comme : « le spectre des nébuleuses spirales est de type stellaire » ou « les spirales sont en rotation ». Elles ne deviennent

[543] Pour cette question de la complexité de la cosmologie voir par exemple (Luminet, 1997)
[544] Au sens de Pierre Clément. (Clément, 1994)

scientifiques que lorsque leur production répond à des critères de scientificité sur lesquels les astronomes sont d'accord, qu'il s'agisse des bases théoriques, de l' interprétation des observations ou de la logique de l'enchaînement des propositions. Il y a donc une double implication des chercheurs: au niveau de l'instrumentation et au niveau de ce qui constitue un fait scientifique.

Comment les interprétations des observations deviennent-elles des « faits scientifiques » ? La question, largement débattue en épistémologie, ne peut être consensuelle. Avant d'aller plus avant, il nous paraît intéressant de préciser plusieurs points éclairants, dans le contexte particulier des nébuleuses.

Alors même que dans la période considérée, les astronomes n'utilisent pas les calculs statistiques dans le domaine des nébuleuses, ils ont cependant une certaine vision probabiliste des données qu'ils recueillent. Ils ne prétendent pas que leurs données soient exactes, mais qu'elles représentent une approximation du réel qu'ils estiment suffisante. Le degré d'incertitude qui découle des mesures des différents observateurs n'empêche pas que les faits qu'ils déterminent à partir de ces données, soient considérés comme vrais. La distinction du vrai et du faux leur est parfaitement discernable, même si c'est parfois avec retard comme dans le cas van Maanen. De même, on peut aussi remarquer que le « modèle »[545] de galaxie qu'ils élaborent est une image d'une réalité qui leur échappe encore en grande partie. En effet de nombreux éléments importants ne sont pas observables, comme la résolution en étoiles, tandis que d'autres sont tout simplement inapparents et ignorés, faute de moyens techniques appropriés, comme par exemple la possibilité de déceler une rotation différentielle entre la partie centrale et les bras et entre la matière non organisée et les étoiles de ces mêmes bras. Cependant leur travail consiste à réduire le plus possible l'intervalle entre le concept qu'ils élaborent et cette réalité inconnaissable. Leur philosophie spontanée semble, à les lire, relever du réalisme. Mais, plus la recherche avance, plus l'objet connu devient complexe. Lorsque le modèle est celui d'un disque de matière en rotation il est assez facile de déterminer les écarts entre les données d'observation et le modèle. Quand les données sont plus précises et incluent des mesures, le nombre de paramètres en jeu augmente de façon trop importante pour qu'il soit facile de décider ce qui peut réduire l'écart entre l'objet et le modèle[546].

---

[545] Le concept de modélisation n'est cependant pas explicite dans les textes de l'époque.

[546] Aujourd'hui les modèles de galaxies incluent la notion de matière noire, élément qui rend difficile la comparaison entre modèle et données issues de l'objet puisque cette matière noire n'est ni un paramètre observable ni un élément parfaitement connu théoriquement.

Ainsi, pour les astronomes de la période, les observations consolidées par leur répétition par le même observateur et par les vérifications opérées par les collègues, constituent-elles bien des faits scientifiques que la communauté valide par consensus et cela se matérialise dans les synthèses qu'ils publient régulièrement[547]. De plus, cette constitution des faits se réalise dans le cadre d'une coopération croissante des disciplines. Dans le cas des galaxies, outre les mathématiques, compagnons de toujours de l'astronomie, plusieurs domaines de la physique et de la chimie, sont grâce à la spectroscopie, vite devenus indispensables. Huggins s'associe à un chimiste pour ses études des nébuleuses. La nomination d'un physicien, E. Pickering à la tête d'un des grands observatoires, celui de l'Université de Harvard, illustre de façon évidente la complémentarité entre physique et astronomie. Progressivement les études des galaxies constituent le domaine de la cosmologie observationnelle qui va s'allier avec la cosmologie relativiste

Il est ainsi indéniable qu'un accord consensuel entre scientifiques intervient dans la constitution du concept de galaxies, même s'il n'est peut-être pas vécu ainsi par les acteurs. Mais l'observation de l'évolution des travaux et des publications de Harlow Shapley est assez démonstrative. Même s'il ne manifeste pas formellement son accord avec l'hypothèse des univers-îles, ses nombreuses publications à partir de 1929, démontrent qu'il l'a adoptée, En témoigne, par exemple, le passage, au cours de cette même année, du terme de nébuleuse à celui de galaxie dans les titres de ses articles.

4.2.1. Évolution historique des modèles de nébuleuses.

À partir des observations et de ce qu'il convient d'appeler des faits scientifiques, examinons comment se fait la mise en relation entre théories et conceptions d'une part et données scientifiques d'autre part. Dans certains cas il est possible de simplifier le problème de manière à utiliser des lois simples, applicables à un cas idéal, comme Kepler a pu le faire avec les planètes. Laplace et beaucoup d'autres, avec et après lui, ont eu fort à faire lorsqu'il s'est agi de faire intervenir les relations entre plus de deux corps. Aujourd'hui l'utilisation de méthodes statistiques très élaborées et les ordinateurs permettent des modélisations multiparamétriques très subtiles. Rappelons que le modèle ainsi construit reste soumis, dans

[547] Ces synthèses sont rapportées en annexe 3 paragraphe 6.

une démarche scientifique, à des contrôles par l'expérience et l'observation. Dans notre question des nébuleuses, ni mathématiques complexes ni ordinateurs ne sont utilisés dans la période en question. Si les mathématiques et les théories physiques existent, les données disponibles ne permettent pas immédiatement leur application dans le cadre de la dynamique. Lorsque James Jeans tente de la faire, il se heurte à de grandes difficultés[548]. En effet les données sont peu nombreuses et contradictoires. Mais nous allons soutenir l'hypothèse que nous avons affaire, malgré ces limites, plus à une stratégie de modélisation où l'ordinateur est remplacé par l'entendement humain qu'à un modèle de type conjecture et réfutation. Le processus de modélisation est en effet antérieur à celui de simulation, largement utilisé aujourd'hui. Les « ingrédients » nécessaires à la modélisation des galaxies, les théories, les observations et les mesures qui en découlent ont été développés dans les parties précédentes.

Nous entendons par modélisation la mise en relation de données empiriques et le plus souvent de théories, utilisée pour comprendre, analyser et parfois découvrir des propriétés cachées des phénomènes. L'évolution des connaissances sur les nébuleuses a fait appel à des types différents de modèles[549]. Il s'agit d'une façon générale de modèles de représentations idéalisés et fortement teintés d'analogies. Ces modèles sont empiriques. Dans sa version la plus simple le modèle « représente un réel capturé à la fois par une théorie et par une observation quantifiée, en bref d'un modèle qui joue le rôle d'une instance intermédiaire de validation empirique d'une théorie. [550]» Mais cette définition est réductrice. Le modèle n'est pas toujours un simple outil de validation d'une théorie. Il n'y a pas de théorie complète des nébuleuses au moment où Slipher propose ses modèles mais des théories multiples correspondant chacune à un des aspects du modèle. Dans une première phase le modèle est un outil parmi d'autres, dont la fonction est de rendre familier un objet confus et incertain, la nébuleuse, en l'associant à un autre objet représenté et construit, le modèle, perçu plus clairement.

Mais les observations évoluent et les théories également. Par exemple, la dynamique des corps en rotation progresse De même que progresse la conception de la notion de modèle, à la fois sur le plan théorique mais aussi poussée par certains progrès techniques, en particulier les moyens de calculs et de représentation..

---

[548] Voir l'annexe 3, paragraphe 4.5.

[549] Voir l'annexe 8.

[550] (Armatte and Dahan Dalmenico, 2004) p 248-249.

La construction de ces modèles, souvent non explicites, se fait progressivement dans le premier tiers du XXe siècle que nous étudions plus particulièrement et Vesto Slipher participe au passage du modèle de nébuleuse à celui de galaxie.

Le premier type de modèle qu'il met en jeu repose fortement sur la théorie de la nébuleuse primitive, sur des observations : spectre, vitesse radiale et rotation surtout et sur des analogies. Il exploite deux d'entre elles : celle de la nébuleuse par réflexion et celle de la rotation d'un disque de matière et, très souvent dans ce contexte, il est fait référence à la planète Saturne. Le modèle constitué est donc celui d'une masse de matière diffuse en rotation éclairée par une étoile centrale, elle-même en cours de formation. À partir de ce modèle, des prédictions sont proposées comme celle qui, à l'aide de la vitesse radiale, permet d'expliquer un phénomène encore inconnu : celui de la nova observée en 1885 dans la nébuleuse d'Andromède (la nébuleuse aurait rencontré une étoile noire qui ainsi aurait été illuminée pendant ce passage). Il permet aussi d'expliquer la présence de formations autour de Messier 31 qualifiées de planètes en rotation.

Mais, nous l'avons vu, plusieurs observations ne concordent pas avec certaines prédictions de ce modèle. Par exemple le noyau central ne pourrait pas être une étoile en formation car ses caractéristiques spectrales et sa vitesse radiale sont en contradiction avec les prédictions d'autres théories considérées à l'époque comme robustes. C'est le cas des relations entre l'âge des étoiles et leurs vitesses radiales ou entre le type spectral du noyau central des nébuleuses, pris comme une étoile, et les théories qui lient ce type spectral au degré d'évolution des étoiles. Ce modèle est abandonné d'une part à cause même de ces fortes contradictions et grâce aux progrès effectués par Slipher dans les mesures de vitesses radiales.

Le second modèle prend en compte en effet les vitesses relatives du système solaire par rapport aux étoiles de la Galaxie d'une part et à celles des nébuleuses spirales d'autre part. Il repose sur un plus grand nombre d'observations qui montrent que, en grande majorité, ces nébuleuses sont en récession. Slipher et d'autres de ses collègues calculent alors le déplacement du système solaire par rapport à ces nébuleuses et l'associent aux observations de Campbell qui a mesuré le déplacement du système solaire par rapport aux étoiles. Ils en déduisent que le système solaire se déplace dans la Galaxie mais aussi que la Galaxie se déplace par rapport aux nébuleuses spirales qui, en outre, se déplacent les unes par rapport aux autres. Ces constatations amènent Slipher à adopter un modèle hypothétique déjà proposé par Emmanuel Kant : celui des « univers-îles ».

Cependant, comme avec le modèle précédant, des problèmes persistent comme la non-résolution en étoiles et l'incertitude sur leurs distances. Par ailleurs les contradictions entre les mesures spectroscopiques des vitesses de rotation et celles qui utilisent les mouvements propres rendent ce modèle douteux. Cependant la vision concurrente qui considère ces objets comme des masses de matière de nature mal définie et situées à l'intérieur de notre Galaxie est bien plus incertaine. Elle repose sur le caractère intragalactique des nébuleuses spirales. Mais dans ce cas, et comme elles ne sont pas résolues en étoiles ce ne sont pas des amas. Leur spectre les distinguent aussi des nébuleuses gazeuses comme celle d'Orion ou planétaires comme la nébuleuse annulaire de la Lyre. Mais alors que sont-elles ? Aucun modèle n'est élaboré. Il n'y a donc pas concurrence entre deux modèles et le débat entre Curtis et Shapley, qui est ainsi asymétrique, ne résout rien.

La suite sera faite d'améliorations successives du modèle défendu par Vesto Slipher et par H. Curtis, au fur et à mesure que de nouvelles observations et de nouveaux concepts théoriques verront le jour. Lundmark tentera d'apporter des précisions complémentaires à ce modèle en confrontant les vitesses radiales à des indicateurs potentiels de distance (magnitude et diamètre apparent) pour tester une hypothétique relation vitesse-distance. Mais c'est Edwin Hubble qui démontrera cette relation avec des mesures plus précises de la distance. Le plus opposé à ce modèle, Harlow Shapley l'adopte presque immédiatement. C'est aussi Slipher qui observe des bandes de poussière dans les bras spiraux qui lui permettent d'orienter le sens de rotation de ces nébuleuses spirales. Ce modèle, constitué d'étoiles situées dans les bras spiraux, associées à la matière interstellaire, permet à Lindblad de proposer un nouveau modèle de galaxie comportant une rotation différentielle de la matière et des étoiles et à Lin et al. de le perfectionner sous la forme des ondes de densité.

Est-ce un autre modèle qui verra le jour avec la comparaison des prédictions de ce modèle théorique avec les observations fines de la rotation, permises par la radioastronomie ? La réponse est non. En réalité nous assistons à une complexification du modèle commencé par Slipher car la discordance entre le modèle théorique et les observations ne conduit pas à un nouveau modèle mais à l'introduction de la notion de matière sombre dans le modèle actuel.

Jusqu'alors les modèles ont surtout impliqué des observations physiques et des calculs peu nombreux et relativement simples. L'étape suivante, celle des collisions de galaxies, implique des processus de modélisation plus complexes qui mettent en jeu des calculs plus importants. On arrive aux modèles de données qui permettent en effet de simuler des collisions de galaxies avec des millions d'étoiles. La modélisation informatique, une

simulation de cette collision, a permis d'observer que cette hypothèse est en accord avec les données d'observation. La réussite du modèle est ici obtenue lorsque l'image produite est semblable à l'image observée.

Nébuleuse	**Nébuleuse spirale (après Slipher)**	**Galaxie (après Hubble)**	**Galaxie complexe**
Un objet flou, ni planète, ni étoile, ni comète…	Un objet aplati, en rotation et doué de grande vitesse radiale Intra ou extragalactique ?	Un objet formé d'étoiles, en rotation, avec une grande vitesse radiale, extragalactique et semblable à la Galaxie.	Un objet formé d'étoiles en constant renouvellement, de gaz, de poussières et de matière noire. De plus, la plupart de ces objets ont été ou sont en interaction avec d'autres galaxies.

Tableau XIX : Les modèles représentatifs des nébuleuses et des galaxies.

4.2.2. À quel moment les scientifiques sont-ils satisfaits du modèle et comment en décident-ils ?

On pourrait répondre qu'ils n'en sont jamais totalement satisfaits et qu'ils considèrent que les différences entre le modèle et l'objet sont des imperfections qu'il importe de corriger sans cesse. Cependant il arrive un moment où un modèle est accepté, d'abord par une majorité d'astronomes, puis par la totalité de la communauté. Dans le cas des galaxies cet accord s'est fait lentement. Il a fallu d'abord que la communauté scientifique accepte certaines des caractéristiques physiques identifiées par les astronomes (spectre, déplacement, rotation). Nous avons vu qu'ils le font rapidement. Mais si ces propriétés étaient acceptées, cela ne signifie pas pour autant que le modèle dans son ensemble l'était. Il persistait toujours un

désaccord sans qu'un modèle concurrent ne soit élaboré. Une étape cruciale[551] est franchie vers 1925, avec la mesure par Hubble de la distance des nébuleuses spirales, toujours supérieure au plus grand rayon, alors admis, de la Galaxie. Lorsque Shapley, opposant le plus ferme à l'idée des univers-îles s'est rallié, le concept de galaxies était définitivement établi.

Mais évidemment, les astronomes savent bien que ce modèle diffère encore de l'objet, qu'il n'en est qu'une approximation. Mais il rend compte de la cohérence des diverses observations et des théories qu'elles impliquent ou utilisent. Comme le fait remarquer Hanson[552], si le modèle reflétait parfaitement l'objet il serait inutile : il suffirait d'observer la galaxie pour qu'elle soit directement compréhensible. Or la connaissance des galaxies reste incomplète et l'utilité du modèle persiste.

L'acceptation du modèle dépend aussi de facteurs humains ou institutionnels. Les modèles ont parfois des opposants comme, par exemple, Van Maanen, Jeans et Shapley. Leurs objections seront rejetées lorsque de nouvelles observations réfuteront leurs prédictions. Mais la rivalité entre ces acteurs n'est pas que scientifique et l'ambition de Harlow Shapley qui postulait pour occuper le poste de directeur du *Harvard College Observatory* a biaisé son argumentation lors de ce qu'il a été convenu d'appeler le Grand Débat en 1920[553]. Pensant que si Curtis réfutait son argumentation il n'obtiendrait pas le poste, il a réduit volontairement les aspects techniques de la discussion pour mettre en valeurs certains de ses travaux[554]. Curtis, pour sa part, a une situation bien assise au sein de la communauté des astronomes, comme d'ailleurs Slipher. Quant à Hubble, en 1920, il n'est pas encore connu et ne joue aucun rôle dans le débat de 1920. Plus tard, après 1925, les choses changent et Hubble se hisse au premier plan avec ses travaux et ses conceptions. Il se heurte cependant à la communauté des astronomes, comme nous l'avons vu avec l'épisode de sa classification des galaxies que l'Union Astronomique Internationale ne reconnaît pas. De même le poids des institutions elles-mêmes est loin d'être négligeable. La grandeur, le prestige et la riche dotation financière de l'observatoire du Mont Wilson ont contribué à l'ascension du jeune Hubble et à son appropriation du modèle de galaxies face à Slipher issu du plus modeste

---

[551] On est réellement à la croisée de deux chemins qui conduisent l'un vers la notion de nébuleuse intragalcatique, l'autre vers celle des univers-îles. Les mesures de Hubble indiquent clairement que le bon chemin conduit aux nébuleuses extragalactiques ou glalaxies.

[552] (Hanson, 2001) Traduction française de 2001 ; première édition originale en 1958.

[553] (Smith, 1982) p 78-80 et (Hoskin, 1976)

[554] Voir la transcription du Grand Débat (Anonymous, 2003) et l'article de Hoskin (ibid.)

Lowell Observatory, même si on doit reconnaître que ce dernier n'a peut être pas suffisamment mis en valeur son modèle.

Ainsi, la construction du modèle de galaxies n'a pas été seulement une affaire de science pure, mais a impliqué des considérations plus générales, propres au milieu professionnel dans lequel ont évolué les acteurs.

4.2.3. Quelle est la fonction de ce modèle de nébuleuses ?

C'est un modèle de représentation qui permet d'appréhender de façon synthétique les connaissances acquises sur cet objet de recherche. D'abord modèle de phénomènes, il devient aujourd'hui modèle de données avec les simulations informatiques.

Avec son acceptation par la communauté scientifique, parler de galaxie évoque immédiatement un concept précis, ce qui n'était pas le cas avec celui de nébuleuse, même spirale. Ici, le modèle renvoie à un concept : ***les*** galaxies et non à ***une*** galaxie particulière comme le fait par exemple un modèle réduit. Utiliser alors le mot « galaxies » à propos de ces objets renvoie à un modèle de représentation plus riche et plus évocateur que le mot « nébuleuses ». Ce modèle construit un savoir sur les nébuleuses spirales plus facile à appréhender. Il sert aussi de base pour formuler et tester de nouvelles hypothèses et s'enrichit de nouveaux sous-modèles que le modèle général incorpore (modèle d'un nuage de gaz en rotation, modèle de l'attraction entre particules, modèle de la rotation différentielle…). En outre, une fois accepté par la communauté des astrophysiciens et des cosmologistes, il devient un nouvel objet qui va servir à son tour pour l'étude de l'Univers à grande échelle et la constitution d'un nouveau modèle d'Univers qui, joint à la théorie de la Relativité Générale et ses conséquences cosmologiques constitue « le modèle standard ».

Pour parler de l'Univers tel que nous le connaissons aujourd'hui, d'autres préféreront le concept de paradigme de Thomas Kuhn et de révolution scientifique. Par contre, dans notre exemple, la notion de « révolution scientifique » ne s'applique pas aux conceptions sur les nébuleuses qui ne constituaient pas un réel paradigme[555]. En effet il n'existait pas de réelle

[555] Sauf si l'on assimile la notion de paradigme à celle de modèle comme le fait par exemple Dominique Vinck (Vinck, 2007) p 177.

science normale sur ce sujet[556]. La lecture de plusieurs manuels et traités d'astronomie de cette période le démontre aisément. Nous verrons d'ailleurs que du fait de l'indétermination du concept, très peu d'astronomes s'y intéressaient. Un court moment cependant, la Galaxie, englobant tous les objets célestes, pouvait être considérée comme un paradigme d'Univers, remplacé actuellement par le Modèle Standard.

L'astronomie des nébuleuses se constitue grâce aux travail et à la perspicacité de quelques astronomes mais, comme nous l'avons entrevu, il convient de replacer le rôle des hommes, aussi important soit-il, dans le contexte dans lequel ils évoluent. Leurs travaux vont faire émerger peu à peu, au sein de l'astrophysique, la spécialité de l'astrophysique extragalactique. Mais c'est aux États-Unis, et dans des observatoires particuliers, qu'elle va émerger. Au contraire l'astronomie française et avec elle, une partie de l'astronomie européenne, va accumuler un certain retard dans ce domaine. Ce sont ces importantes questions que nous allons aborder maintenant.

[556] Mais Kuhn signale que certaines sciences (celles qu'il appelle baconniennes comme la chaleur, l'électricité ou le magnétisme) ont connu une phase durant laquelle il n'y a pas de paradigme. Il s'agit cependant de sciences et pas d'objets particuliers. (Kuhn, 1990) p 290-9.

TROISIÈME PARTIE : L'ASTROPHYSIQUE EXTRAGALACTIQUE, UNE NOUVELLE SPÉCIALITÉ OUVERTE AUX ASTRONOMES ; UN CHEMIN TRACÉ PAR VESTO SLIPHER.

Alors que la partie précédente concernait la construction d'un objet de travail (galaxie), ici c'est la constitution d'un domaine de recherche que nous allons aborder. Tandis qu'un groupe d'astronome construisent un modèle de galaxies, ces mêmes acteurs constituent progressivement le domaine, ou plutôt la spécialité, qui les réunit à travers journaux et groupes de travail au sein en particulier de la commission des nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale.

À côté de l'astronomie classique, astrométrie et mécanique céleste[557], l'apparition de la spectroscopie, de la photographie et de la photométrie photographique va contribuer à l'individuation de l'astrophysique. Mais peu à peu ce sont tous les astronomes qui s'approprient les techniques de l'astrophysique et l'astronomie redevient un ensemble unifié. Par contre il se crée bien une nouvelle spécialité promise à un immense succès : celle de l'astronomie extragalactique. Ces développements se font partout de façon sensiblement parallèle mais pas au même rythme, plus rapide aux États-Unis et plus lent en Europe.

[557] L'astromètre s'intéresse aux mesures des positions précises des objets célestes. La mécanique céleste cherche à expliquer les mouvements précis de ces objets les uns par rapport aux autres et à faire des prédictions.

1. L'individuation de l'astrophysique

Ce développement historique a été étudié en profondeur, surtout pour le contexte états-unien, par John Lankford[558] dans son ouvrage publié en 1997. Il faut également citer l'intéressant travail de Laetitia Maison et Stéphane Le Gars[559] qui fait le point sur l'astronomie physique française. Ce dernier a consacré son travail de thèse à ce sujet. Nous ne ferons que résumer très brièvement quelques points importants de cet épisode.

Le terme d'astrophysique est aujourd'hui confondu avec celui d'astronomie. Au sens littéral d'ailleurs, l'astronomie serait, pour certains, devenue astrophysique avec Newton. Cependant le terme d'astrophysique (Astrophysik) naît d'abord semble-t-il en 1865 en Allemagne[560], sous la plume de Johann Carl Friedrich Zöllner (1834-1882). Mais c'est aux États-Unis, dans le premier quart du XIXe siècle, qu'il va devenir d'un usage courant et d'une certaine façon s'institutionnaliser.

L'astronomie dominante est alors surtout allemande, anglaise et française. Elle possède une assise historique ancienne et solide. Elle se consacre à l'astronomie de position qui a atteint un haut degré de précision et de prestige. En témoigne le séjour quasi obligatoire des futurs astronomes américains dans les observatoires européens à la fin de leurs études. Cette tendance ralentit dès le début du XXe siècle et s'inverse après la Première Guerre Mondiale. Le développement de l'astrophysique aux États-Unis se fait en deux grandes phases que Lankford caractérise par deux générations d'astronomes. Ce sont d'abord les pionniers de la « nouvelle astronomie » dont George E. Hale [561] représente l'aboutissement. Il s'intéresse principalement au Soleil, fonde les observatoires de Yerkes entre 1892 et 1897, puis du Mont Wilson entre1902 et 1904. Ils sont suivis par une seconde génération qui poursuit le travail sur le Soleil, mais développe les recherches sur les étoiles avec par exemple Norris Russel, Heber D. Curtis, James Keeler, William Campbell…

Ce développement est matérialisé par la création de nouveaux media spécifiques[562]. George Ellery Hale crée la revue : *Astronomy and Astrophysics* qui paraît en 1892 par

---

[558] (Lankford and Slavings, 1997)

[559] (Maison and Le Gars, 2006)

[560] Ibid p 53, note 4.

[561] (Wright, 1994)

[562] Voir les annexes sur le développement des media.

transformation d'un journal populaire : *Sidereal Messenger*. C'est la première apparition dans un titre du terme *astrophysique*. Mais Hale n'est pas satisfait et cherche à créer une revue entièrement dédiée à l'astrophysique. L'*Astrophysical Journal* est ainsi fondé par lui à Chicago avec l'aide du président de cette université en 1895. Ce périodique succède donc à l'éphémère *Astronomy and Astrophysics*. Il est consacré aussi bien à l'astrophysique d'observation qu'à la spectroscopie de laboratoire. En Europe la revue *Astronomy and Astrophysics* (dont le nom est dans le domaine public) ne sera fondée qu'en 1969.

Les deux groupes, astronomes « anciens » et astrophysiciens se trouvent en concurrence dans la recherche de crédits, surtout auprès des mécènes privés mais aussi dans le drainage des étudiants qu'attirent ces nouvelles activités, sources de nombreuses découvertes que l'astronomie de position n'apporte plus[563].

La différence entre pays, étudiée par Lankford, [564]montre que c'est surtout aux États Unis que l'astrophysique va se constituer en un domaine indépendant. Les institutions scientifiques sont en effet plus récentes, il n'y a pas encore de grandes écoles et les astrophysiciens vont avoir plus de liberté pour développer leur discipline. En France cette individualisation va se concrétiser par la création de l'observatoire de Meudon en 1876 par Janssen et celui du Pic du Midi en 1878 grâce à la ténacité du général Champion du Bois de Nansouty (1815-1895) et de l'ingénieur Célestin Xavier Vaussenat (1831-1891). En Allemagne l'astrophysique se développe à l'Institut d'Astronomie de Heidelberg dirigé par Max Wolf. Au Royaume Uni, c'est dans un observatoire privé, celui de Huggins, que se développe d'abord l'astrophysique.

La question qui va nous préoccuper maintenant, celle de la naissance de l'astronomie extragalactique, n'a pas été développée par Lankford, bien qu'il souligne à plusieurs reprises l'apparition d'une spécialisation de l'astrophysique.

---

[563] Une troisième phase verra le jour avec le développement de l'astrophysique spatiale dans la seconde moitié du XXe siècle.

[564] Pages 382- 404. Op. Cit.

2. L'émergence de l'astronomie extragalactique.

Pour cette étude nous avons réalisé une étude bibliométrique à partir de la base de données bibliographique établie par le *Smithomian Astrophysical Observatory* et la *NASA*. Nous avons, à l'aide de mots-clés recherché le passage du terme « nébuleuse spirale» à celui de « galaxie». Elle peut fournir en effet des indications sur la chronologie de cette spécialisation dont, par ailleurs, nous avons observé le développement autour de Vesto Slipher et de Hubble (tableau XX). Nous avons ensuite recherché, au sein des articles, les sens donnés aux différents termes.

Avant 1913 aucun astronome n'utilise le terme de galaxie pour parler des nébuleuses spirales mais seuls onze travaux se rapportent à ce domaine dans la période 1900-1910. C'est en 1913 que Slipher applique le mot galaxie aux nébuleuses spirales, à propos de la nébuleuse d'Andromède. En 1918, c'est Crommelin[565] qui questionne : *« Are the spiral nebulae galaxies ?* ». Le terme de « *non galactic nebulae* » est utilisé en 1925 par Gustav Stromberg[566]. Hubble pour sa part, parle de « *extragalactic nebulae* » en 1926[567]. Le terme de *galaxies* sera couramment utilisé, d'abord par Shapley dès 1929[568], puis à partir de 1930, par la presque totalité des astronomes. Mais de nombreux auteurs parleront encore de *nébuleuses extragalactiques*, comme Eddington, Hubble, Humason, Lemaître et de Sitter, plus probablement par habitude de langage que par conviction théorique. Après 1959 on trouve trois articles dont un est un article historique, les deux autres sont publiés dans des revues en français et leurs titres sont : « Sur la détermination des masses de nébuleuses spirales et diffuses » et : « Les nuages d'hydrogène interstellaire de la nébuleuse spirale M 33 ».

[565] (Crommelin, 1918)

[566] (Stromberg, 1925)

[567] (Hubble, 1926)

[568] (Shapley, 1929)

Années	Spiral nebula ou nebulae	galaxy ou galaxies	Total
1900-1909	11	0 : 0%	11
1910-1919	66	4 : 5,7%	70
1920-1929	74	9 : 10,8%	83
1930-1939	29	48 : 62,3%	77
1940-1949	30	28 : 48,3%	58
1950-1959	13	242 : 94,9%	255
1960-1970	3	1213: 99,7%	1216

Tableau XX : Nombre d'articles dont le titre comporte les mots « spiral nebula ou nebulae » ou les mots « galaxy ou galaxies » à l'exception du terme « Galaxy » nommant notre galaxie, entre 1900 et 1970. Source ADS-NASA.

2.1. La constitution de ce domaine spécialisé.

Nous avons montré, dans le chapitre sur la constitution de l'objet galaxie, que l'apparition conjointe de la spectroscopie et de la photographie, avec pour corollaire la possibilité de réaliser des mesures, a permis la définition de nouvelles propriétés pour les nébuleuses. Cependant, l'intégration dans les catalogues des caractéristiques physiques des nébuleuses ne fait pas l'unanimité de la Commission des nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale en 1921[569] où il est recommandé de se référer au catalogue N.G.C. Mais peu à peu ces données nouvelles seront intégrées aux nouveaux catalogues. Ces développements ont été suffisants pour intéresser un nombre de plus en plus grand d'astronomes qui découvrent des moyens d'approfondir les connaissances sur ces objets. C'est un des éléments constitutifs de ce nouveau champ de recherches. Ce champ n'est pas la spectroscopie. Ce n'est pas non plus l'astrophysique, car elle concerne aussi le Soleil, les étoiles et très vite la plupart des astronomes sont aussi astrophysiciens. Par contre c'est bien l'étude des nébuleuses, et plus particulièrement de celles que l'on nomme bientôt les nébuleuses extragalactiques qui se constitue en spécialité au sein de l'astronomie. Cette création est indépendante de tout concept théorique préalable car, nous l'avons vu tout au long de cette étude, il n'existe pas, dans ce premier quart du vingtième siècle, de concept théorique global défini pour ces objets. Un

[569] Pour plus de details voir l'annexe 4.

même astronome se réfère, sans d'ailleurs afficher aucune certitude, à des concepts aussi différents que les univers-îles, la nébuleuse protosolaire ou l'idée d'amas stellaires intra galactiques. Ces concepts sont importants, mais aucun des acteurs de cette discipline naissante n'a réellement affiché longtemps une préférence forte pour l'un ou l'autre de ceux-ci. C'est bien le cas de Vesto Slipher et de ses collègues Fath et Campbell avant 1916. On présente souvent Harlow Shapley comme un opposant décidé à la théorie des univers-îles. C'est en grande partie exact, mais, en réalité sa préoccupation principale est de faire accepter les résultats de ses travaux sur la Galaxie. En témoigne son souhait de limiter les discussions du « Grand Débat » [570]à ce seul sujet, voulant écarter celui des nébuleuses, sans toutefois réussir[571]. Mais dès 1929, il adopte, de façon non ambiguë, le concept de nébuleuses extragalactiques. Le reste de la communauté des spécialistes, que nous allons étudier plus loin, cristallise autour de ce consensus.

Un autre élément non négligeable dans la constitution de cette spécialité est l'attrait du grand public pour ces objets. L'analyse de quelques quotidiens américains montre que parmi les articles sur l'astronomie, beaucoup concernent l'univers extragalactique. La vitesse radiale, la rotation ou la distance des spirales retiennent l'attention des journalistes et du public et l'énormité des vitesses, des distances et des masses fait rêver. Dans la mesure où le financement de ces observatoires provient de fonds privés, il n'est pas étonnant que les astrophysiciens de ce domaine obtiennent, grâce à cet intérêt, les équipements qu'ils souhaitent. A. Sandage[572] précise par exemple ce rôle dans la décision de construire le grand télescope de 200 pouces du Mont Palomar qui pourtant n'était indispensable que pour 4% des travaux de l'observatoire: « Nevertheless, that four percent was the foundation of observational cosmology, and the public spotlight became focused on the Nebular Department. It remained there throughout the 1930s and 1940's, providing much of the justification for constructing of the Palomar 200-inch reflector – and much of the dismay, jealousy, and dislike by the spectroscopists. Part of their animosity toward Hubble was due to the overwhelming media attention he received. »

[570] Voir l'annexe 3. Cette réunion a fait l'objet d'une analyse historique par (Smith, 1982) et dans (Hoskin, 1976). La transcription des exposés peut être consultée dans (Anonymous, 2003).

[571] (Shapley, 1969)

[572] (Sandage, 2004) p. 481.

2.2. Qui constitue ce groupe ?

Dans les observatoires, les temps de télescopes disponibles sont toujours insuffisants et les observations doivent être planifiées. On distingue deux sortes d'astronomes : le « *dark moon astronomer* » qui a besoin d'un ciel très noir, et ne peut observer qu'en l'absence de lune. Appartiennent à ce groupe les observateurs des objets extragalactiques et de certains objets galactiques comme les nébuleuses gazeuses ou certains amas stellaires. Au contraire les « *bright-moon astronomers* » peuvent se satisfaire de la présence de la Lune et cela concerne en particulier les observations stellaires. On imagine qu'il puisse y avoir une certaine compétition pour les rares nuits sans lune. C'est en tous cas ce qui se passe au Mont Wilson[573].

On peut distinguer dans cette période quatre groupes d'astronomes :

- Ceux qui ne publient jamais sur le sujet des nébuleuses spirales, les plus nombreux.

- Ceux qui s'y intéressent, au moins sur le plan des idées, mais qui ne réalisent que peu de travaux personnels majeurs sur le sujet, comme le Britannique John Reynolds.

- Ceux qui gardent une activité mixte, avec une part plus ou moins importante de leur temps dévolu aux nébuleuses. Certains ont consacré parfois la totalité de leur temps à ce champ pendant une période de leur carrière comme Slipher.

-D'autres enfin s'y consacrent presque entièrement comme Edwin Hubble.

Cette spécialisation va croître progressivement à partir de la fin de la seconde guerre mondiale mais restera peu représentée, comme nous le verrons lors de l'analyse des publications.

Le tableau XXI indique quels astronomes ont, au Mont Wilson, publié sur les galaxies. Ils sont peu nombreux,[574] et en outre, à part Hubble, n'y ont pas consacré une grande part de leur activité. Une recherche bibliographique montre que, contrairement aux autres astronomes, sur la même période, Edwin Hubble n'a publié que seize articles sur des objets qui ne sont pas des nébuleuses extragalactiques, presque tous au début de son activité d'astronome, mais qu'au contraire il a fait paraître trente-deux articles et ouvrages sur les

[573] (Sandage, 2004)

[574] En 1925 il y a 25 astronomes titulaires au Mont Wilson, quatre des auteurs présents dans le tableau XXI sont présents, les autres sont arrivés plus tard. Le groupe des spécialistes des nébuleuse n'a jamis dépassé cinq personnes jusqu'en 1960 (Sandage, 2004).

nébuleuses extragalactiques[575]. Cette proportion en fait un véritable spécialiste de l'astronomie extragalactique lorsque qu'on compare ses sujets de publications à ceux des autres astronomes. Seul van Maanen, avec neuf articles, le suit d'assez près. Rappelons que Vesto Slipher a publié onze articles sur les nébuleuses extragalactiques sur un total de cent deux. À partir de 1930, ce sera au tour de Shapley et très vite d'autres suivront.

Hubble seul	15 (1 critique de van Maanen)
Hubble et Humason	1
Hubble et Tolman	1
Humason	3
Seares	2
Van Maanen	9
Baade	3
Stebbins et Whitford	2
Lundmark; Whitford; Minkowski; Gunnar Randers; Seyfert; Holmberg; Baade et Zwicky	Un chacun

Tableau XXI: Publications sur les galaxies dans *Contributions of the Mount Wilson Observatory* (1905-1948). Ces articles sont repris dans l'*Astrophysical Journal*. Ces 43 articles représentent 6% des 760 articles publiés par les équipes du Mont Wilson dans le même temps. (Sandage, 2004)

2.3. Prééminence des États Unis : mythe ou réalité ?

Notre hypothèse de départ, déduite de notre recherche sur Slipher, pose que l'astrophysique extragalactique est née et s'est développée aux États-Unis Pour le vérifier, nous avons d'abord étudié les revues astronomiques et recensé les publications sur ce sujet. Nous avons ensuite

[575] Il a en réalité publié un plus grand nombre d'articles, mais beaucoup paraissent à la fois dans les Contributions of the Mount Wilson Observatory et dans l'Astrophysical Journal.

tenté de rechercher les causes de cette suprématie sur les autres pays, en particulier européens, en nous intéressant en particulier au cas de la France et dans une moindre mesure à ceux de l'Allemagne, du Royaume-Uni et de la Suède.

2.3.1. L'analyse de la littérature astronomique de 1900 à 1930.

Pour rechercher l'éventuelle suprématie des États-Unis dans le domaine de l'étude des nébuleuses dans la première moitié du XXe siècle nous avons revu les sommaires des revues suivantes :

Pour les États-Unis l'*Astrophysical Journal*, l'*Astronomical Journal*, les *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Le *Lick Observatory Bulletin*, les *Contributions from the Mont Wilson Observatory*, Le *Harvard College Observatory Bulletin* et *Popular Astronomy*.

Pour le Royaume-Uni les *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, le *Journal of the British Astronomical Association* et *The Observatory*.

Pour l'Allemagne *Astronomische Nachrichten* et *Zeitschrift für Astrophysik*

Pour la France le *Journal des Observateurs*, les *Comptes rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences*, les *Annales de l'observatoire de Paris* et de celui de Meudon, Les *Annales d'Astrophysique*, ainsi que les bulletins des observatoires de province et les journaux étrangers ci-dessus. Le *Bulletin Astronomique* pour sa part consacre une grande partie de la revue à des notes bibliographiques dans lesquelles les études sur les nébuleuses sont bien représentées. Nous avons analysé en détail le tome V (1923-1924) où se trouvent dix-neuf articles sur les nébuleuses extragalactiques : tous les grands travaux étrangers sont analysés. Les astronomes français sont donc parfaitement au courant de tous les travaux, y compris sur les nébuleuses, qui se déroulent aux États Unis.

Les tableaux XXII et XXIII montrent la nette prééminence des États Unis dans le nombre des publications sur les nébuleuses extragalactiques. Il faut rajouter à cela que les publications allemandes et françaises sont soit des catalogues soit portent sur des aspects théoriques, mais très rarement sur des données observationnelles de type astrophysique. Seuls, Gérard de Vaucouleurs et Henri Mineur commencent à publier sur les galaxies dès les premiers numéros des *Annales d'Astrophysique*, mais seulement à partir de 1949. Fabry et Perot ont été les seuls à publier dans l'*Astrophysical Journal*, mais sur le sujet de la spectrométrie interférentielle. Ils

sont d'ailleurs les seuls français à faire partie du comité éditorial jusqu'à leur décès. Les Européens les plus présents dans les revues américaines sont suédois (Lundmark, Lindblad, Holmberg) ou Danois (Hertzsprung). Tous ont un temps travaillé dans un observatoire américain. D'autres même s'installent aux États-Unis comme A. van Maanen ou Walter Baade.

	Revues			
Années	Américaines	Anglaises	Allemandes	Françaises
1900-1909	14	12	9	3
1910-1919	80	15	5	3
1920-1929	72	34	10	0
1920-1939	90	18	14	2
Total	256	79	38	8

Tableau XXII: Ensemble des publications publiées, en fonction de la nationalité des revues, portant sur les nébuleuses extragalactiques en fonction des périodes. Une publication est française; elle émane de Fabry et Perrot et porte sur l'interférométrie.

Années	Américaines	Anglaises	Allemandes	Françaises
1900-1909	6	7	2	2
1910-1919	42	7	4	0
1920-1929	29	15	10	0
1930-1939	54	9	14	2
Total	131	38	30	4

Tableau XXIII: Répartition du nombre des publications sur les nébuleuses extragalactiques dans les revues en excluant les publications d'observatoires et les revues anglaises : The Observatory et américaine : Popular Astronomy qui publient des articles de synthèse ou des articles de vulgarisation.

Ces tableaux montrent une augmentation des publications d'une période à l'autre, sauf pour la période 1920-1929 où le nombre de publications chute aux États Unis. Ils montrent également la nette prédominance américaine à partir de 1910 et la très grande rareté des articles français.

Années	Ensemble des publications	Sur les nébuleuses	Sur les nébuleuses extragalactiques
1900-1909	18 254	174	38
1910-1919	16 940	299	103
1920-1929	18 426	302	116
1930-1939	20 165	428	124

Tableau XXIV : Répartition des publications (recensement à partir de la base bibliographique ADS-NASA).

- **Analyse des publications allemandes.** La revue *Astronomische Nachrichten* est une des plus anciennes et plus prestigieuses revues européennes. Elle publie des articles en allemand, mais aussi en anglais et en français. Nous avons étudié intégralement la période 1910-1930[576]. Le tableau XXIV montre une évolution sur deux points : l'augmentation significative des publications sur les nébuleuses et d'autre part, la raréfaction des articles en provenance des auteurs non-allemands. Dans la première période, deux auteurs dominent : Wolf de Heidelberg et Barnard (un astronome américain) tandis que dans la seconde ce sont Hagen et Wirtz de Strasbourg. La montée du nazisme explique en grande partie cette évolution avec la réticence des américains à publier dans les revues allemandes, réticence déjà présente à la fin de la première guerre mondiale. Parmi ces publications, 19 sur 116 concernent les nébuleuses extragalactiques. Onze sont écrits par des auteurs allemands, trois par des Américains, quatre par des Russes et un par un auteur suédois.
- Une autre revue, *Zertschrift für Astrophysik* publie des articles de physique théorique dont certains concernent la dynamique des nébuleuses extragalactiques.

[576] Vu le petit nombre d'articles sur les nébuleuses nous avons fait un dépouillement intégral. En raison du très grand nombre d'articles publiés, nous nous sommes limité à la période 1910-1930, la plus intéressante pour ce qui concerne la naissance de l'astrophysique comme spécialité. Le découpage par tranche de dix ans s'impose en raison du très faible nombre d'articles sur les nébuleuses.

Période	Allemand	Anglais	Français	Total
1010-1919	28	11	1	40
1920-1930	69	6	1	76

Tableau XXV : Nombre de publications sur les nébuleuses (ensemble des différentes catégories), en fonction de la langue de rédaction des articles, dans la revue *Astronomische Nachrichten*. Les deux publications écrites en français ne sont pas dues à des astronomes français mais à des astronomes des pays de l'Est qui ont l'habitude de communiquer en français.

- Analyse des publications britanniques. Les astronomes anglais publient surtout dans les *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (MNRAS) mais aussi, nous l'avons vu, dans les revues étrangères, allemandes mais surtout américaines. Les études sont très souvent théoriques ou portent sur des réflexions mais très rarement sur des observations astrophysiques. Voici quelques titres significatifs : « *The galactic distribution of the spiral nebulae; on the tidal distortion of rotating nebulae, Internal motions in spiral nebulae*… » Parmi celles-ci, il faut citer les six publications de travaux théoriques que James Jeans consacre à la dynamique des spirales. L'astronome Reynolds occupe une place à part. Nous l'avons souvent rencontré dans *The Observatory*, revue qui publie des articles de synthèse et de vulgarisation mais parfois aussi des articles scientifiques. mais il est très présent aussi dans les MNRAS. Cet astronome, amateur éclairé, intervient en effet presque systématiquement sur tous les sujets et propose des commentaires à propos de presque tout ce qui se publie sur les nébuleuses. Il a aussi réalisé des travaux originaux sur les nébuleuses, en particulier spirales à l'observatoire de Helwan en Égypte.

- Analyse des publications françaises. Nous avons été exhaustifs sur la période 1900- 1945. Nous n'avons trouvé, avant 1944, dans toutes les publications françaises analysées, aucun article d'astrophysique sur les nébuleuses spirales. Trois publications, au début de la période, dus à Javelle, et Deslambres sont des catalogues de positions. Les autres rares articles sur ce thème correspondent le plus souvent à des notes bibliographiques (principalement dans le *Bulletin Astronomique*) ou des commentaires, toutefois très peu nombreux. En 1944

paraissent les *Publications de l'Observatoire de Haute-Provence*. Le premier article reçu le 17 juillet 1944 est une note de Jean Rösch, présentée par Bernard Lyot et intitulée « *Étude de la répartition des couleurs dans la nébuleuse spirale M 51 (NGC 5194-5) par la méthode des longueurs d'ondes effectives spectroscopiques.* » Ce travail effectué à l'OHP a été publié intégralement dans les *Comptes-rendus de l'Académie des sciences* dans sa séance du 28 juillet 1947. À partir du volume 2 (qui commence en 1951), les publications de l'OHP sur les galaxies vont devenir plus fréquentes, en particulier sous la signature de Joseph Bigay

Par ailleurs, les observatoires français établissent chaque année un rapport d'activité. Nous les avons tous étudiés entre 1913 et 1930. Aucun de ces rapports ne fait état de travaux sur les nébuleuses spirales, ni même sur les amas globulaires.

Il faut cependant signaler les travaux théoriques de Henri Poincaré[577] sur la dynamique des nébuleuses, utilisés et cités par Jeans et Eddington.

- **Le cas particulier de la Suède.**

Dans ce pays deux observatoires jouent un rôle important dans le domaine des nébuleuses extragalactiques. Ce ne sont pas des observatoires plus importants ou mieux équipés que les autres observatoires européens. À Uppsala, Knut Lundmark effectue de nombreux travaux dont une grande part grâce à un séjour prolongé aux États-Unis À Stockholm, nous avons vu les travaux réalisés par B. Lindblad. Si certaines de leurs publications paraissent dans les journaux suédois, la majorité de leurs travaux importants sont publiés dans les revues américaines, Publications of the *Astronomical Society of the Pacific* (PASP) et *Astrophysical Journal* principalement.

Ainsi, l'analyse de la littérature démontre très clairement que les travaux d'astrophysique observationnelle des nébuleuses extragalactiques sont presque exclusivement nord-américains. Cet aspect avait été noté également pour l'astrophysique en général par Lankford. De plus, alors que les astronomes allemands et britanniques publient au moins des travaux théoriques de qualité sur les nébuleuses spirales, les Français restent pratiquement absents de ces discussions. Nous développerons cet aspect dans une prochaine partie.

[577] Les ouvrages de Poincaré ont pratiquement tous été traduits en anglais de son vivant.

2.3.2. Dans quels observatoires des États-Unis sont développés ces travaux ?

Les observatoires américains sont assez nombreux mais tous ne se consacrent pas aux mêmes activités, comme le signale Lankford[578]: «Astrometry played a significant part in American astronomy but it did not drive the growth of the science. A number of institutions carried out important astrometric research including the Naval Observatory, the Dudley, Allegheny after Langley, Yale and Virginia. Any observatory with a long-focus refractor devoted some time to double-star work (Yerkes, Lick , US Naval Observatory and the USNO[579]) while institutions such as Swarthmore and Allegheny specialized in the photographic study of stellar parallaxes.» De plus les tâches nécessaires au service de l'heure et les observations nécessaires à la marine sont réalisées dans les observatoires financés par l'état. En outre, les travaux météorologiques se font dans des institutions spécialisées.

En réalité quatre observatoires consacrent une bonne partie de leurs ressources à l'étude des nébuleuses : les observatoires Lowell à Flagstaff, celui de Lick au Mont Hamilton, celui de la fondation Carnegie au Mont Wilson, puis plus tard celui de Harvard. Encore ne consacrent-ils qu'une part modeste à cette activité. Sandage[580] fait remarquer que sur 760 articles publiés jusqu'en 1948, 43, soit 6% concernent l'univers extragalactique et seulement 4% si on retire les articles de van Maanen qui n'ont, selon lui, rien apporté à la connaissance des galaxies. Et pourtant, ce domaine occupe la une des journaux, permettant à Hubble de faire construire le grand télescope du Mont Palomar, essentiel pour ce type d'études. À partir des années 1930, Harlow Shapley, alors directeur de l'observatoire du *Harvard College*, donnera une forte impulsion aux recherches sur l'univers extragalactique.

Ces quatre observatoires, entièrement privés, développent deux particularités qui les distinguent des observatoires européens : la liberté de choisir leurs programmes de recherche en dehors de toute tutelle de l'état et la spécialisation des astronomes. Par exemple Slipher peut consacrer une partie de sa vie professionnelle à l'étude des nébuleuses et c'est encore plus évident pour Hubble qui consacre presque tout son temps à ce sujet.

---

[578] Op. Cit. P 395.
[579] USNO: US Naval Observatory: observatoire de la Marine.
[580] (Sandage, 2004) p 25

2.3.3. Les raisons de la différence de développement.

L'insuffisance de l'astronomie française dans les domaines de l'astrophysique galactique et extragalactique serait due, pour Charles Fehrenbach[581] à deux causes : « L'absence de télescopes de grand diamètre et l'exécution de la Carte du Ciel. » Cette opinion, partagée par nombre de ses collègues, doit être nuancée. En effet, si ces deux éléments sont probablement en cause, ils ne sauraient à eux seuls, comme nous allons le montrer, constituer les fondements du retard français. En réalité plusieurs phénomènes expliquent l'absence de la France, et des autres pays européens, en astrophysique des nébuleuses. Plusieurs facteurs sont intriqués : la question des télescopes, la conception généraliste des observatoires, la lourdeur des tâches de routine, la faiblesse des moyens financiers mais aussi un certain désintérêt pour ces questions.

2.3.3.1. Des équipements plus performants ?

L'essor de l'astronomie américaine extragalactique n'est pas simplement expliqué par les télescopes. Il existe, au moins au début de la période, celle des grandes découvertes, des instruments de diamètres suffisants en Europe (tableau XXVI). Rappelons que les vitesses radiales et les rotations des spirales ont été mesurées avec une lunette de 61 cm à Lowell et de 91 cm à Lick. À la même époque, les Européens disposaient de telles lunettes.

Lunettes ; nombre : 37			**Télescopes ; nombre : 30**		
	USA: 14	Europe: 23		USA: 12	Europe: 18
Ouverture			Ouverture		
51- 74	11	19	**76 – 99**	5	12
76 – 99	2	4	**101 - 150**	1	5
101	1	0	**152 – 251**	5	1
			255	1	0

Tableau XXVI : Grands télescopes 1859-1940 : Europe et Amérique. D'après Lankford (emprunté à Gingerich[582]) ; sont inclus les télescopes situés hors des frontières mais opérés par les nations sus-citées.

[581] (Fehrenbach, 1990)

[582] (Lankford and Slavings, 1997)

Avant la guerre de 1914, il existe en France deux télescopes de 80 cm (Marseille et Toulouse) ainsi que deux lunettes de grand diamètre : 83 cm à Meudon et 76 cm à Nice. En outre, l'observatoire de Paris possède un télescope de 1,2 m mais il n'est pas utilisé depuis 1892[583]. Il est pourtant fonctionnel, puisqu'il sera installé en 1941 à l'Observatoire de Haute Provence avec quelques modifications.

Bien sûr, les observatoires américains, et en particulier celui du mont Wilson, se doteront de télescopes de grande taille: 1,52 m en 1908-9, puis 2,50 m en 1919. Celui du Mont Palomar de 3 mètres sera installé en 1947. Il est intéressant de noter que les miroirs du Mont Wilson, depuis le 60 pouces installé en 1908, jusqu'à celui de 100 pouces, ont été fournis par les établissements Saint-Gobain installés à Paris. Les Français sont également renommés pour la taille des miroirs et leur contrôle, depuis Foucault. Ainsi la compétence instrumentale n'est pas en jeu dans ce retard.

Les observatoires Allemands et Britanniques disposent aussi d'instruments adaptés. Cependant les conditions climatiques sont un peu plus défavorables, mais ceci est compensé par l'existence d'observatoires de qualité dans les pays du Commonwealth.

L'absence de grands télescopes n'a pas empêché les astronomes d'Uppsala et de Stockholm de développer des recherches importantes sur les nébuleuses. Par ailleurs, en 1922, lors des premières réunions de la commission des nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale, tous les astronomes, y compris Hubble sont de l'avis qu'un certain nombre de recherches sont du domaine des petits instruments comme les lunettes de 24 pouces.

Ainsi, il n'est pas possible d'incriminer l'absence de lunettes ou de télescopes de diamètre suffisant pour expliquer le retard pris par l'Europe dans ce champ particulier de l'astronomie, d'autant moins qu'un certain retard existe aussi dans les études spectrales des étoiles telles que celles menées à Harvard par Pickering, à Lick par Keeler puis Campbell ainsi que par Russel .

Un autre élément, qui confirme notre analyse, est tiré d'une lettre de K. Lundmark à Vesto Slipher du 24 février 1922[584]. Il décrit toutes les études sur les nébuleuses qui ont été réalisées et celles qui vont l'être prochainement à Uppsala avec des instruments de petite taille : spectres, calculs de magnitudes, index de couleurs… Pourquoi ce qui est fait dans cet

---

[583] Dans son ouvrage C. Fehrenbach rappèle ce point sans donner d'explication précise. Il indique seulement que les quarante spectres obtenus par Deslandres en 1897 avec ce télescope n'ont jamais été publiés (Fehrenbach, 1990) p 23. Etaient-ils de mauvaise qualité ?

[584] Voir archives de la Commisssion des Nébuleuses. Document A3.

observatoire assez modeste ne peut-il pas être réalisé dans les grands observatoires européens ?

Bien entendu, l'avancée technologique américaine, et en particulier l'édification des grands télescopes du Mont Wilson et du Mont Palomar, va aussi permettre l'extension de l'astrophysique extragalactique et contribuer à son individuation comme discipline.

D'autres causes doivent donc être examinées telles que l'organisation des observatoires, les finances et l'intérêt même des astronomes.

Il faut d'emblée signaler que les compétences en astrophysique sont présentes, aussi bien en Allemagne qu'au Royaume Uni (Huggins, Miller). En France L. Maison et S. Le Gars[585] ont bien montré, à propos du cas de trois astronomes (Janssen, Cornu et Rayet), que ces professionnels français maîtrisent toutes les techniques de la spectrographie. Dans la période étudiée, 1860-1890, les travaux, presque exclusivement solaires sont à la pointe du progrès. Ces connaissances se sont transmises mais n'ont jamais été appliquées aux nébuleuses. D'autre part, les travaux américains sont analysés dans les revues françaises, et donc disponibles pour tous les astronomes. Néanmoins un exemple démonstratif montre que cette connaissance est loin d'être à jour. Très éclairant est le rapport de G. Bigourdan[586], nommé président de la Commission des nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale en 1919. Sa vision du sujet qui reste proche de celle de Herschel, ne sera pas appréciée des autres membres de la Commission.

2.3.3.2. L'organisation des observatoires.

Il existe en France de nombreux observatoires, mais pendant longtemps seuls celui de Paris et en 1876 celui de Meudon, rattaché à Paris en 1926, ont joué un rôle prédominant. À Marseille Édouard Stephan (1837-1923) vers 1881 avait entrepris un recensement des nébuleuses dans l'esprit des Herschel, comme aussi M. Perrotin à l'observatoire de Nice. Au début du XXe siècle les observatoires de province ont été réorganisés. À côté de Paris et Meudon il existe

[585] (Maison and Le Gars, 2006)

[586] Pour plus de précision voir l'annexe 5.1 avec en particulier la reproduction in extenso de son rapport.

huit observatoires[587], ceux de Alger, Besançon, Bordeaux, Lyon, Marseille, Nice, Pic du Midi et Toulouse[588]. En 1919, l'observatoire de Strasbourg, alors allemand, rejoindra ces derniers.

Le personnel astronomique est peu nombreux et surtout la situation se dégrade dans la période étudiée car il y a un observatoire supplémentaire, avec pratiquement le même effectif total. (tableau XXVII)

	Directeur	Adjoint	Aide-astronome	Assistant
1913	7	10	14	13
1930	8	10	14	13

Tableau XXVII : Évolution des effectifs des personnels astronomiques entre 1913 et 1930[589].

Avec ce personnel, quelles sont les tâches qui incombent aux astronomes ? Voici à titre d'exemple les travaux réalisés à l'observatoire de Toulouse entre 1926 et 1931. Ce relevé a été réalisé par Emmanuel Davoust[590] :

« 400 à 500 clichés de la Carte du Ciel (Rossard)

2500 à 4 500 positions d'étoiles de repère avec la lunette méridienne (Saint-Blancat, puis Besson)

25 000 à 30 000 positions d'étoiles sur les clichés (les «dame s de la Carte du Ciel)

100 à 150 mesures d'étoiles doubles à la lunette de Brunner (Montangerand)

Position d'une cinquantaine de petites planètes (Paloque, puis Jekhowsky)

Enfin, une vingtaine de clichés de la carte du Ciel sont envoyés à l'héliogravure chez Schützenberg à Paris.

Les travaux de routine sont :

surveillance de la marche des chronomètres et pendules (pour le méridien)

relevés météorologiques

[587] Rapports adressés au nom du Comité Consultatif des Observatoires astronomiques de province, adressé à M. le Ministre de l'Instruction Publique par M. Loewy, directeur de l'observatoire de Paris.

[588] Il existe aussi des petits observatoires indépendants à Nantes pour la Marine, Montpellier, Hendaye et celui de Flammarion…

[589] Les données sont issues des rapports publiés chaque année par les observatoires.

[590] Sur le site de l'IMCCE (Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides) : http://www.imcce.fr/page.php?nav=fr/ephemerides/astronomie/Promenade/pages5/549.html

impression d'un réseau de développement des clichés (Cabazon)

réduction des observations méridiennes et d'étoiles doubles.

Ce n'est qu'en 1935 que Pierre Lacroute installe un service astrophysique, avec observations spectroscopiques d'étoiles. »

À cette époque l'observatoire de Toulouse ne compte que trois astronomes, deux aides, deux assistants et un météorologiste.

Les rapports annuels d'activité de ces observatoires sont éloquents et indiquent que les travaux sont relativement identiques d'un établissement à l'autre. Ils partagent leur temps entre le service de l'heure, la météorologie, la sismographie, le magnétisme terrestre et les observations astronomiques. Celles-ci concernent beaucoup les relevés de positions d'étoiles, l'étude des comètes, des astéroïdes, des planètes et de leurs satellites et parfois le suivi des taches solaires. Nice fait de la spectrohéliographie, Lyon s'intéresse aux étoiles doubles et aux étoiles variables, tandis que d'autres consacrent une grande partie de leur temps aux photographies et calculs nécessaires pour le projet de la *Carte du Ciel*. Au Pic du Midi, remis en état, Lyot met au point son coronographe et étudie les protubérances et la couronne. À l'observatoire de Paris les travaux concernent beaucoup l'astronomie de position tandis qu'à Meudon se développe l'astrophysique solaire.

Avec toutes ces charges et des effectifs limités, sachant qu'en outre les directeurs assument aussi des tâches d'enseignement, il y a peu de chance que ces observatoires puissent envisager une importante innovation scientifique. Nous avons vu, au contraire, que les observatoires américains privés, déchargés de la plupart de ces travaux de routine, pouvaient choisir leurs thèmes de recherche.

La relation avec l'université.

Le nombre d'étudiants est faible puisqu'en 1913 il n'est que de 41 000 étudiants (contre 79 000 en 1939)[591]. Ce doublement est à mettre en relation avec la multiplication du nombre d'étudiants par 22 aux États-Unis, 11 au Royaume-Uni et huit en Allemagne[592]. De ce fait ces étudiants vont là où les carrières sont les plus prestigieuses et les mieux payées et l'astronomie n'est pas l'activité qui séduit le plus. Par ailleurs, si quelques observatoires sont liés aux universités, ce n'est pas en France un atout en faveur de la recherche. En effet les professeurs doivent assurer l'enseignement et, comme à Paris par exemple, cumulent plusieurs fonctions : enseignement au sein de l'université, dans les grandes écoles et

[591] Oliveschi et al. p 267.

[592] (Lankford and Slavings, 1997) p 388-91.

également les cours publics payants qui contribuent à élever leur niveau de vie. Il reste peu de temps pour la recherche. Cette dernière se fait au sein des observatoires mais souvent sans lien fort avec les autres disciplines, notamment la physique, ni lien avec les formations doctorales. Aux États-Unis au contraire, de nombreux collèges et universités disposent d'un observatoire et les étudiants sont donc formés théoriquement et pratiquement à l'astronomie. C'était le cas de l'Université d'Indiana où Slipher a poursuivi ses études.

En Allemagne, un astronome beaucoup plus intéressé aux nébuleuses extragalactiques que ses collègues, Max Wolf, se plaint des difficultés administratives auxquelles il doit faire face pour obtenir des équipements qui ne soient pas seulement utilisables pour l'astrométrie. Il écrit à Slipher[593] à propos de son spectroscope: « Mine is very roughly made because there are no means for such "useless things". Il estime, que dans son environnement, les études sur les nébuleuses sont considérées comme sans intérêt pratique et donc superflues.

2.3.3.3. Un centralisme paralysant les initiatives individuelles.

La situation est ancienne et remonte à Le Verrier. Laetitia Maison[594] montre que la nécessité d'une réorganisation des observatoires français est formulée depuis 1872, avec en particulier trois demandes : la séparation de l'astronomie d'avec la météorologie d'une part, la séparation d'avec le Bureau des Longitudes d'autre part, ainsi que la création d'observatoires décentralisés. Ces points seront acquis, mais cela ne changera pas foncièrement la situation de l'astronomie. La météorologie reste pratiquée dans les observatoires, souvent à la demande de leurs directeurs et sous la pression locale car faute de services météorologiques spécialisés on fait toujours appel aux astronomes pour obtenir des prévisions météorologiques. Les observatoires ne sont plus sous la tutelle du Bureau des Longitudes, mais les tâches nécessaires aux éphémérides sont toujours réalisées dans les observatoires. Les établissements de provinces sont réorganisés ou créés *de novo* pour certains. Mais en fait la situation n'est pas réellement modifiée. Il faut dire que les directeurs des observatoires subissent des pressions tant locales que ministérielles pour qu'ils poursuivent leurs tâches en particulier météorologiques.

---

[593] Lettre de Max Wolf à Vesto Slipher du 21/2/1913. LOA.

[594] (Maison, 2003)

La première réforme de 1873 tente de décentraliser l'astronomie, mais en 1879 le décret qui crée le Comité Consultatif des Observatoires des départements ne lui donne aucun pouvoir décisionnel. Les candidats aux postes d'astronomes titulaires sont toujours présentés par le Conseil des Observatoires et l'Académie des Sciences et c'est le ministre qui nomme en dernier recours. En 1907 les problèmes de l'astronomie française perdurent, comme le montre un rapport de Benjamin Baillaud[595]. En 1920, rien n'a changé. En témoigne un rapport de l'Académie des Sciences[596] qui éclaire de nouveau la situation difficile de l'astronomie française :

« L'Académie des Sciences estime que les Observatoires français ont un rendement trop faible du personnel et du matériel. Elle constate avec regret que les jeunes savants ne se portent pas assez vers la branche nouvelle de l'astronomie physique à tous égards si féconde, et, d'une manière générale, se détournent de plus en plus de la carrière astronomique. »

L'Académie propose de réformer le statut, alors peu avantageux, des astronomes en les intégrant à l'université. Il est vrai que les salaires des astronomes sont faibles, mais ce n'est pas la seule raison de la désaffection des étudiants pour la discipline. D'abord les formations scientifiques scolaires sont peu développées et l'enseignement universitaire de médiocre qualité, selon l'Académie. Enfin et surtout, l'image très routinière que donnent les astronomes de leur profession n'est pas faite pour susciter des vocations. On constate donc un déficit de renouvellement des praticiens dont certains sont enfermés dans des routines peu valorisantes.

Une réforme des observatoires de Paris et Meudon « *qui ne relèvent pas de l'Université* » paraît nécessaire avec en particulier « *l'introduction dans leurs conseils d'astronomes titulaires de ces établissements* ». Il semble donc qu'ils ne soient pas consultés jusque là. L'Académie propose en outre de mieux répartir les personnels et les moyens et de construire un grand télescope mis à la disposition de tous les observatoires. En retour le ministre de l'Éducation et des beaux-Arts demande aux académiciens des solutions « *pratiques et détaillées* ».

Mais s'il est probable que l'excès de centralisation a été un frein au développement de nouvelles thématiques, les structures administratives n'expliquent pas tout. Le lourd travail portant sur la *Carte du ciel* a peut-être contribué à ce retard, en monopolisant les personnels et les budgets, mais remarquons que quatre observatoires ne s'étaient pas engagés dans cette

[595] ibid p 590.

[596] Comité secret. Séance du 19 avril 1920. Voir le texte complet à l'annexe 3.

aventure, et que leurs activités ne s'avèrent pas fondamentalement différentes de celle des autres.

2.3.3.4. Les moyens financiers et le mécénat.

La question qui se pose ici est de déterminer dans quelle mesure ces découvertes astronomiques dépendent de leur environnement économique et politique. Cette spécialité subit en effet des contraintes externes qui se traduisent en termes de crédits, ordres, commandes, contrats…

Après une domination européenne de l'astronomie jusque vers la fin du XIXe siècle, lorsqu'elle s'intéressait surtout à l'astronomie dite de position, ce sont les États Unis d'Amérique qui vont se trouver à la pointe des progrès dans le domaine des nébuleuses. Quelle est le mode de fonctionnement de leurs observatoires ?

Aux États-Unis

Un formidable développement économique[597]

La fin de la guerre de Sécession déterminée par la capitulation du général R. Lee à Appomatox en 1865, marque un tournant dans l'histoire des États Unis. Au cours de la guerre, une industrie prospère s'est développée de façon considérable dans les états du Nord. En retour le goût pour la science et l'intérêt pour la technologie sont stimulés. À la fin de la guerre ces entreprises se trouvent donc disponibles pour des grands travaux. À l'extérieur le pays est en paix et les frontières des États-Unis (Canada et Mexique) sont paisibles. Le conflit limité avec l'Espagne à propos de Cuba en 1898 est sans conséquence pour l'économie américaine. De ce fait, et contrairement aux États européens, les dépenses militaires sont faibles et la stabilité politique, garante du développement économique, est assurée.

Ensuite les matières premières sont disponibles. Les ressources sont immenses sur tous les plans. Le charbon et le fer sont abondants notamment en Pennsylvanie. Un canal permet de les transporter dans les états voisins (Ohio, Indiana, Illinois) dès 1855. Du pétrole a été découvert par Drake en 1859 et son exploitation va permettre le développement de

[597] Pour ce paragraphe nous avons consulté les ouvrages suivant : (Kaspi et al., 2006), (Melandri and Portes, 1991), (Schoell, 1991), (Wish, 1962), (Zinn, 2002).

l'automobile. Les immenses forêts fournissent en quantité le bois utilisé dans de nombreux secteurs, dont la construction, car les habitations sont encore largement en bois.

Les besoins en matière de développement sont immenses. Les transports sont à créer, tant chemins de fer que transports urbains, pour des villes en accroissement prodigieux, sans compter la nécessaire reconstruction des états du sud.

D'autre part, aucune barrière douanière interne ne freine le développement et le commerce des états, alors qu'au contraire des droits de douane très élevés, maintenus jusqu'en 1913, protègent l'industrie américaine de la concurrence extérieure.

La liberté d'entreprendre est totale, pratiquement sans aucun frein administratif ou politique. L'immigration fournit une main d'œuvre abondante et bon marché. Par exemple, sont arrivés 2 800 000 immigrants, principalement venus d'Europe, dans la seule décennie 1871-1880. Aucune loi sociale ne contrôle les salaires et ils sont extrêmement bas.

Les capitaux sont abondants et le système bancaire est en passe d'être unifié, bien que la réserve fédérale ne voit le jour qu'en 1913 mais elle n'est pas encore indispensable dans cet état de prospérité.

De ce fait se développe une énorme industrie de type capitaliste qui produit un important enrichissement personnel des entrepreneurs. Des trusts se forment avec par exemple, en 1901, celui créé par J. Pierpont Morgan et Andrew Carnegie qui fusionnent pour former l'*US Steel Corporation* au capital de 1,5 milliards de dollars de l'époque.

Face à cet enrichissement une grande partie de la population est pauvre et des manifestations parfois violentes commencent à se produire. Après quelques réformes timides, la société américaine réagit et amène au pouvoir des réformistes dont le premier sera Theodore Roosevelt en 1901 mais surtout H. Taft, président de 1909 à 1913. Ce dernier dissout les trusts et ses successeurs continueront son action. Cependant des fortunes sont constituées et elles ne seront pratiquement pas touchées. Ce qui sera limité, c'est seulement la possibilité de créer de nouveaux enrichissements personnels de ce type et de cette ampleur.

Un développement inégalé du mécénat.

En réaction à ce mécontentement populaire, les grands industriels éprouvent un intense besoin d'améliorer leur image publique en participant à de nombreuses activités culturelles et scientifiques. Dans ce domaine, deux éléments fondamentaux caractérisent la période : les professions scientifiques trouvent leur place dans l'enseignement supérieur et parallèlement des gros moyens privés subventionnent la création d'universités nouvelles ainsi que la recherche scientifique. En effet, Russell Conwell crée la Temple University, John D. Rockefeller celle de Chicago. Hutington patron de la puissante Central Pacific Railway crée

pour sa part deux universités pour les noirs, tandis que la John Hopkins University est fondée par le négociant du même nom. Citons également L. Stanford, J. Dukes, C. Vanderbilt, E. Cornell, tous des mécènes qui donnent leur nom à des universités prestigieuses. Ces fondations n'ont pas seulement un but philanthropique, elles permettent aussi un contrôle des élites car les fondateurs gardent un droit de regard sur le mode de fonctionnement de ces établissements[598].

Un mécénat favorable à l'astronomie

En effet, l'astronomie bénéficie, elle aussi, de ces « largesses », directement ou par l'intermédiaire des universités. Après celle de Lowell dans la première partie, nous traçons ici le portrait emblématique de trois magnats qui ont financé les observatoires où travaillèrent en particulier William Campbell, George Ellery Hale, Harlow Shapley et Edwin Hubble. Celui de P. Lowell a été présenté au début de ce travail.

Figure 37 : James Lick

James Lick (1796-1876)[599], exerce d'abord le métier de fabricant de pianos à Baltimore puis à New York. Ses exportations en Amérique latine l'amènent à s'installer d'abord en Argentine. Après des péripéties diverses, il s'installe à San Francisco où il fonde avec Ghirardelli la célèbre chocolaterie qui porte le nom de ce dernier. Ses affaires se développent et Lick se lance aussi dans l'immobilier et dans l'hôtellerie. Il devient l'homme le plus riche de Californie. Au début des années 1870, il décide de consacrer une partie de sa fortune au développement de la science et il s'oriente vers le projet d'établissement d'un

[598] Plus tard la fiscalité favorable aux fondations permettra la poursuite du financement privé de la recherche scientifique américaine comme par exemple à la Fondation Carnegie qui possède l'observatoire de *Las Campanas* au Chili.

[599] Site de l'Observatoire Lick au Mont Hamilton. Misch T. et Stone R. 1998. mthamilton.ucolick.org.

observatoire, avec le plus grand télescope jamais construit. En effet il est personnellement intéressé par l'astronomie.

Il fait appel à Thomas Fraser qui, de 1879 à 1887, supervise les travaux. Le site a été trouvé en 1861, au sommet du Mont Hamilton près de San José. Lick accepte le site à condition que l'on construise d'abord une route « première classe », de San José où il réside, jusqu'à l'observatoire. De plus en plus intéressé par l'astronomie, Lick décide que toute sa fortune ira à l'éducation et à la science, dont 700 000 dollars pour l'observatoire. Celui-ci est terminé en 1888 et livré à l'Université de Californie. Edward Singleton Holden en sera le premier directeur. Il héberge le plus grand télescope existant dans le monde à cette période. Lick qui décède avant la fin des travaux sera inhumé, à sa demande, sur le site de l'observatoire.

Charles Tyson Yerkes (1837-1906)[600] est un financier. Comme Lick, il a eu une vie bien remplie. La banque qu'il avait créée en 1860 fait faillite en 1871 et Yerkes fait même de la prison. Lorsqu'il en sort, il reconstruit sa fortune dans les transports urbains, en utilisant des moyens pour le moins moralement discutables, voire maffieux. Son image est déplorable mais sa richesse est immense. Après avoir décliné l'offre de soutenir un grand laboratoire de biologie universitaire, Yerkes est approché par un jeune astronome, George Ellery Hale qui rêvait d'acquérir le grand observatoire de Kenwood pour le consacrer à l'étude du Soleil. Yerkes propose au contraire, de construire un nouvel observatoire pour l'Université de Chicago et met sur la table la somme de 250 000 dollars. Hale, qui sait que deux miroirs de 40 pouces sont disponibles, mais coûtent 16 000 dollars, sollicite de nouveau Yerkes. Il lui fait comprendre que ce sera le plus grand télescope au monde. La vanité de Yerkes est piquée au vif et il accepte en bloc l'achat des deux miroirs et le financement total du futur observatoire. Dans les journaux, Yerkes est comparé à Laurent le Magnifique, tandis que le maire de Chicago déclare que ces largesses n'excusent pas ses comportements douteux, pas plus que les fondations universitaires de John D.Rockefeller n'excusent les comportements de la Standard Oil Company. Quoi qu'il en soit, Hale profite de Yerkes en achetant, sans le lui dire, trois nouveaux télescopes. Yerkes tempête mais paie. Le 21 octobre 1897 l'observatoire est inauguré. Le discours de Yerkes, qui portait sur la nature non commerciale et désintéressée de l'astronomie, réussit à lui attirer la sympathie du public: son but était atteint.

---

[600] Article de John Franch. Site de l'Université du Chicago gestionnaire de l'observatoire: astro.uchicago.edu. Mise à jour le 12/01/1999.

Andrew Carnegie (1835-1919), immigré d'Écosse en 1848, se forme sur le tas en exerçant des travaux divers, ouvrier dans une usine textile, télégraphiste puis secrétaire. Après la guerre de sécession il se lance dans les trains-couchettes après avoir rencontré George Pullman qui en est l'initiateur. Avec l'argent gagné, il achète des champs pétrolifères et se trouve à la tête d'un million de dollars. Il ne s'arrête pas là et développe des industries sidérurgiques et gagne beaucoup d'argent en fabriquant des rails pour les chemins de fer, alors en plein essor.

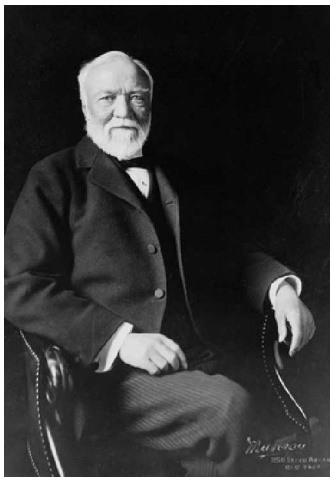


Figure 38 : Andrew Carnegie

Il est très vite à la tête d'un nombre immense d'entreprises. En 1901, il vend ses usines pour 250 millions de dollars et se retire des affaires. Il est aussi propriétaire d'industries de construction de locomotives et surtout il possède dix-huit journaux qu'il contrôle dans un sens favorable au libéralisme. Sa philosophie était que les riches devaient s'employer à enrichir la société plutôt que de perdre leur argent en le donnant aux pauvres. La Carnegie Institution est fondée en 1902 à Washington. Les fonds donnés par Carnegie permettent encore de financer aujourd'hui des recherches, en particulier en astronomie qui est l'un des cinq départements de recherche de la fondation[601]. C'est encore George Ellery Hale[602] qui est à l'origine de la création du premier observatoire de la fondation Carnegie, au Mont Wilson près de Pasadena, avec deux télescopes, l'un de 1,5 mètres et l'autre de 2,5 mètres de diamètre. C'est avec ces instruments que Shapley et Hubble feront la plupart de leurs découvertes.

[601] La fondation Carnegie est une « non-profit organization » qui vit des fonds initiaux, qui procurent des revenus, et de dons. Elle assure à ses chercheurs la possibilité de consacrer l'intégralité de leur temps à leurs travaux. Ils n'ont en effet ni charges d'enseignement ni tâches de recherche de fonds.

[602] La vie passionnante de G.E. Hale a été retracée par (Wright, 1994)

À côté de ces mécènes, rappelons le cas Percival Lowell,[603] assez original. Il exerce en effet à la fois les deux fonctions, celle de financeur de son observatoire et celui d'astronome directement impliqué dans les recherches.

Ainsi, aux États-Unis, si l'état finance aussi un certain nombre d'observatoires qui assurent des travaux d'utilité publique, les autres sont soit mixtes soit entièrement privés. Il en est de même pour les Universités qui forment les futurs astronomes. La puissance de ce mécénat est liée aux conditions socio-politiques remontant à la fin de la guerre de sécession. Les sommes en jeu sont colossales : elles permettent non seulement de construire et d'équiper des observatoires, mais encore de les faire fonctionner et de recruter des astronomes et des physiciens de haut niveau.

À l'issue de cette synthèse il apparaît que, même si ces financiers ne sont sans doute jamais intervenus directement sur les travaux de recherche des astronomes, ils ont néanmoins joué un très grand rôle. En permettant la construction de télescopes de très grand diamètre, dans des sites éloignés des villes et souvent en montagne, ils ont contribué à leur façon, aux importantes découvertes de la fin du XIXe et du début du XXe siècle.

En France

Le financement des observatoires.

Il est assuré par l'État. Sous la Troisième République, les observatoires dépendent du Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts. Le budget[604] de l'état reste faible jusqu'à la première guerre mondiale. La part des dépenses publiques dans la production intérieure brute évolue lentement: 8,2% en 1872 et seulement 8,8 en 1912. Il faudra attendre 1920 pour qu'il passe à 27,8[605]. Les moyens des établissements publics sont insuffisants. Les astronomes français, au gré de leurs rapports annuels, se plaignent d'un financement notablement insuffisant au point que dans plusieurs de ces rapports, les astronomes disent mettrent la main à la pâte pour assurer l'entretien de l'observatoire.

On assiste, comme aux États-Unis, à une croissance économique, déjà amorcée au cours du Second Empire qui a développé une politique volontariste. C'est ainsi que le chemin de fer,

[603] Voir seconde partie paragraphe 2.

[604] Pour ce chapître nous avons utilisé les sources suivantes : (Guillaume, 1993), (Miquel, 1989), (Olivesi and Nouschi, 1997) et (Rebérioux, 1975).

[605] Guillaume p 206-10.

comme aux États-Unis tire l'économie vers le haut et contribue aux progrès de l'industrialisation. Les sociétés sont privées et le resteront au cours de la Troisième République. Des grandes banques apparaissent (Crédit Mobilier, Société Générale, Crédit Lyonnais…). Après un léger déclin de 1852 à 1873, la croissance va reprendre tardivement à partir de 1900 et même 1906 . À cette époque, le Crédit Lyonnais est la première banque mondiale. L'industrie automobile va redonner un second souffle à l'industrie.

Mais ce qui différencie fortement les deux industries, française et américaine, c'est que la première est beaucoup moins concentrée. De ce fait les mécènes potentiels sont à la fois moins nombreux et disposent de disponibilités plus faibles que leurs confrères américains.

Le mécénat

Nous avons, avec l'observatoire de Nice, un exemple démonstratif. C'est en 1879 qu'un riche banquier, Raphaël Bischoffsheim (1823-1906), décide de consacrer une partie de sa fortune à la construction d'un observatoire. Il lui faut d'abord obtenir l'assentiment des autorités et l'Académie des Sciences donne un avis favorable. Il le dote d'une lunette de 76 cm qui rivalise favorablement avec les équipements américains de l'époque. Mais au lieu de développer une astronomie indépendante, sur des thèmes originaux, le mécène décide de rattacher l'observatoire à la Sorbonne et il rentrera bientôt dans le giron des observatoires français où il se moule dans la routine commune.

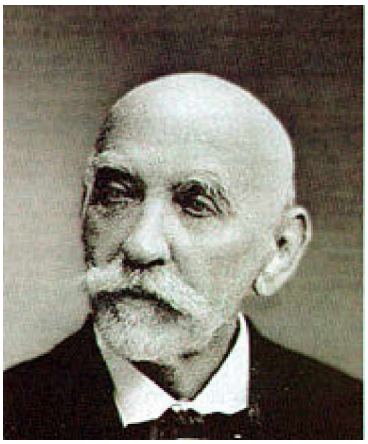


Figure 39: Raphaël Bischoffsheim.

Avantages et inconvénients du mécénat.

Le manque d'un mécénat puissant en France a probablement joué un rôle non négligeable dans la lenteur de l'évolution de l'astronomie française. Comme nous l'avons vu pour les États-Unis, le financement des observatoires par des fonds privés a deux conséquences favorables. D'une part, les astronomes disposent d'une décharge de tâches routinières lourdes et d'autre part, ils peuvent acquérir des moyens techniques importants. Cependant la structure leur impose des contraintes, souvent tacites, qu'il serait imprudent de négliger. À défaut d'une

utilité pratique des travaux des astronomes, il est nécessaire qu'ils possèdent une large visibilité pour le public. C'est par ce moyen que se valorisent, aux États-Unis, les grands financeurs dont nous avons analysé les biographies. C'est aussi par ce moyen que de nouveaux fonds peuvent être collectés. Quelles conséquences cela a-t-il sur le fonctionnement des observatoires et les recherches des astronomes ? Certains indices permettent de les entrevoir. La présentation des résultats doit être rapide, au point que souvent, nous l'avons vu par exemple à propos de Slipher et de Hubble (distance de Messier 31), les résultats sont annoncés dans la grande presse avant leur publication dans les congrès ou les revues scientifiques. Ainsi des théories sont présentées un peu prématurément comme par exemple celle de la distance des nébuleuses tirée de leur grande vitesse radiale[606]. Par contre, rien ne permet de penser que le choix des thèmes de recherche ait été influencé par les sponsors. Cette « organisation » a certainement favorisé aussi le gigantisme des observatoires et des instruments. Mais ce gigantisme n'était pas propre à l'astronomie, rappelons que dans le même temps les Américains développaient les gratte-ciel et les énormes locomotives intercontinentales.

Au contraire la patiente accumulation de données sur les positions des étoiles, dans des catalogues jamais terminés, avait une moindre portée médiatique mais également séduisait peu les étudiants.

2.3.3.5. Les conditions politiques : l'impact des guerres.

Il est évident que la France, l'Allemagne et le Royaume Uni ont subi des conflits ravageurs (1870, 1914-1918). Après la fin de la guerre de sécession, les États Unis ont connu une paix relative marquée par des conflits marginaux. Leur implication dans la première guerre mondiale a été tardive (1918) et relativement modérée. Les conséquences des guerres européennes sur la science en général et l'astronomie en particulier sont multiples. Au moment où les grands équipements deviennent nécessaires, les ressources disponibles vont manquer. Le défaut de financement est aggravé car les sommes destinées à l'armement n'ont pu aller à une science, à cette époque sans intérêt militaire. De plus, pendant près de cinq ans, les observatoires, surtout français, n'ont pas été entretenus. Faute de personnel suffisant,

[606] Slipher dans le New York Times (Slipher, 1921a)

certains, comme le Pic du Midi, n'ont conservé qu'un simple gardiennage. Enfin les pertes humaines ont aussi affecté le milieu des astronomes et de leurs techniciens.

2.3.3.6. L'intérêt scientifique des astronomes.

En réalité le retard pris par l'Europe dans l'astronomie galactique et surtout extragalactique relève aussi de causes non matérielles, moins évidentes à analyser. Ce retard peut être matérialisé par les publications, nous l'avons vu, mais aussi par l'étude de la participation des astronomes aux travaux de l'Union Astronomique Internationale (U.A.I.). Rappelons que l'UAI est née de la fusion de deux projets. L'un, sur l'initiative de la France, *la Carte du Ciel*, l'autre américain : *The International Union for Cooperation in Solar Research*.

Dès le départ, les Américains dominent comme présidents de commissions. Le nombre de leurs délégués reste cependant faible. En 1938 les Français sont très peu nombreux et ne président que cinq commissions et les Britanniques quatre (Tableau XXVIII). Or, tout se passe au sein des commissions, non seulement au cours des congrès, mais surtout dans l'intervalle de trois années qui les séparent. Les Allemands sont statutairement absents en raison de leur implication, jugée fautive, dans la Première Guerre Mondiale. La commission spécifiquement créée pour étudier les nébuleuses comporte au début deux français G. Bigourdan, son président, et Ch. Fabry. Bigourdan cède la présidence au second congrès mais reste dans la commission. Trois ans plus tard, en 1925, il n'y a plus aucun français dans la commission.

Un autre témoignage de ce peu d'intérêt des astronomes français pour l'astronomie des nébuleuses est illustré par le rapport de la présidence de la commission des nébuleuses rédigé par Bigourdan lors du congrès de Rome en 1922. Comme nous l'avons déjà signalé, son manque de connaissance du sujet, sa position passéiste, encore toute dirigée vers les mesures de position et la description naturaliste de ces objets, tranche avec la vision des autres astronomes de la commission[607]. Au contraire certains astronomes anglais, comme Reynolds, montrent un réel désir de participer à l'essor de cette nouvelle discipline.

[607] Voir le paragraphe 5.1 de la première partie et les documents complémentaires présentés dans le volume d'annexes (chapitre 5 : Union Astronomique Internationale).

	Rome (1922)		Stockholm (1938)	
	Présidents de commissions	Délégués	Présidents de commissions	Délégués
USA	11 (34%)	11 (13%)	12 (33%)	62 (22%)
Royaume Uni	8 (25%)	18 (22%)	4 (11%)	43 (15%)
France	8 (25%)	12 (14%)	5 (14%)	22 (8%)
Allemagne	Non invitée	Non invitée	0	11 (4%)
Autres	5 (16%)	42 (51%)	15 (42%)	146 (51%)
Total	32	83	36	284

Tableau XXVIII: Participation des différents pays aux travaux de l'U.A.I.

L'étude des rapports au Comité Consultatif des observatoires, en France, entre 1880 et 1931 est également éclairant. À la fin de chaque rapport, les directeurs annoncent en quelques mots leurs projets pour l'année suivante, immanquablement ils assurent vouloir poursuivre leurs travaux en cours. À aucun moment n'apparaît un projet sur les nébuleuses extragalactiques.

Le poids des traditions, les succès de l'astrométrie, et en particulier ceux de Le Verrier, continuent de marquer la pensée de certains astronomes. Danjon dans son rapport de juillet 1923 au général Gustave Ferrié (1868-1932)[608] rappelle que la création d'un nouvel observatoire pourrait s'avérer décevante : « ...la création...ne serait pas viable dans le cadre administratif des observatoires officiel. Son activité serait éphémère…. La routine s'emparerait bientôt du personnel, astreint, comme c'est l'usage, à un service machinal, réglé pour toujours suivant les règles immuables, et ne laissant aucune initiative aux astronomes. Aussi, verrait-on cet observatoire s'endormir sur quelque besogne de longue, de très longue haleine[609], confiée à des fonctionnaires de tout repos, soucieux de ne pas troubler l'ordre établi. De telles conditions de travail ont nécessairement raison de tous les zèles, de tous les enthousiasmes... « Danjon propose de créer un observatoire de recherche à l'image de celui du Mont Wilson aux États-Unis, avec des chercheurs, des étudiants et en relation étroite avec d'autres chercheurs universitaires. Il exprime néanmoins des craintes quant à son succès : peut être se souvient-il de l'échec de l'observatoire de Nice ? Malgré ces critiques, il faut rappeler que Danjon, lorsqu'il devient directeur de son observatoire, ne change rien à son fonctionnement. Mais le peut-il dans le cadre administratif de cette époque ?

[608] p 38-43. Récit du projet de création d'un observatoire privé subventionné par les époux Dina. Ferrié, ami des Dina demande son aide technique à Danjon alors astronome à Strasbourg.

[609] Allusion à la Carte du Ciel.

Un rapport d'ensemble sur l'activité scientifique des observatoires des départements pour 1930 montre qu'il n'y a aucun projet sur les nébuleuses (maintenant les galaxies) ni même de projet en spectroscopie stellaire.

En 1931, dans son allocution inaugurale prononcée lors de la première conférence internationale d'astrophysique à Paris, Henri Mineur[610] constate : « Nos dix observatoires, sauf peut-être celui de Meudon, limitaient presque entièrement leur activité aux travaux de services (service méridien, service de l'heure, service de la carte du ciel) ; ces travaux consistaient à effectuer, durant de très longues années, des observations et des calculs suivant une technique qu'on avait souvent intérêt à conserver immuable, pour que les observations soient comparables entre elles ; un astronome achevait rarement un travail de service qu'il avait commencé. »

Il semble bien que les astronomes français aient été assez peu intéressés par l'étude des nébuleuses. Nous avons vu que le manque de télescopes ne justifiait pas entièrement le retard, au moins au début de l'astrophysique des nébuleuses. En effet les travaux sur les vitesses radiales, les classifications spectrales et les grandes découvertes sur les nébuleuses ont été réalisés avec des instruments modestes, que la France et d'autres pays européens possédaient à l'identique. Par contre, à l'inverse de l'Allemagne et surtout du Royaume Uni, avec en particulier James Jeans et Arthur Eddington, les astronomes français, après Poincaré, ne s'intéressent même pas aux questions théoriques concernant ces objets[611]. Pour ce qui concerne l'Allemagne, nous avons aussi vu que Wolf estimait que la communauté des astronomes ne jugeait pas prioritaire l'étude des nébuleuses.

Ainsi, il semble qu'à coté d'une certaine inertie institutionnelle, il ait existé un conformisme des esprits peu ouverts à la nouveauté, sans qu'il soit possible de totalement démêler ce qui revient aux institutions et ce qui revient aux hommes.

En réalité, le retour de la France dans le peloton de tête des observatoires et son arrivée dans le domaine de l'astronomie extragalactique seront liés à la création de l'observatoire de Haute Provence qui ne fonctionnera qu'après la seconde guerre mondiale. Plus tard, la création d'une grande coopération européenne permettra enfin aux pays européens de rivaliser avec les États-Unis.

---

[610] Secrétaire général du service d'astrophysique de la Caisse Nationale de Recherche Scientifique, première mouture de l'actuel CNRS. (Mineur, 1938)

[611] Nous n'avons trouvé aucune publication française sur le sujet.

Cette dernière partie confirme la très nette domination des États-Unis dans les recherches en astronomie extragalactique et le retard considérable de l'Europe et plus particulièrement de la France. En Amérique du Nord, ce domaine s'est constitué en une véritable spécialité, exclusive pour certains comme Hubble. Le retard est multifactoriel mais beaucoup d'éléments sont corrélés. Le manque de télescopes puissants n'est pas la raison principale car toutes les découvertes inaugurales ont été réalisées avec des équipements que beaucoup d'observatoires français et plus généralement européens, possédaient. Les causes financières ont peut être joué : moindre rôle du mécénat, engagement limité de l'Etat, première guerre mondiale, mais elles ne suffisent pas à tout expliquer. L'organisation même des observatoires, si favorable aux nouvelles recherches américaines, empêchait toute innovation en Europe et particulièrement en France. Les charges de travail non directement astronomiques, dont se sont déchargés les astronomes des États-Unis (géophysique, météorologie, service de l'heure), hypothéquaient lourdement ailleurs les possibilités de nouveaux développements. Enfin, il semble que les astronomes, par tradition, ne se sont pas intéressés, au moins en France, à la question des nébuleuses. Sans doute ce désintérêt était-il accentué par une organisation fortement centralisée de l'astronomie qui maintenait les différents observatoires dans une continuité routinière, signalée dans les rapports rédigés à la fin de la période. La fin de la seconde guerre mondiale s'est accompagnée, partout dans le monde, d'un nouveau bond en avant de la recherche astronomique, qui a permis l'essor, en Europe, de l'astronomie extragalactique.

Conclusion

L'étude complète des sources primaires, jamais analysées de façon exhaustive jusqu'alors, nous a permis de mieux comprendre la place des observations de Vesto Slipher dans l'émergence du concept de galaxies, son élaboration sous forme de modèle évolutif et le retard pris par les pays européens et la France en particulier.

Les deux découvertes dues à Slipher, - la grande vitesse radiale des nébuleuses spirales et leur mouvement de rotation – résultent de travaux minutieux associant mise au point des matériels, précision dans l'acquisition des données et perspicacité dans leur analyse. Elles ont été considérées immédiatement par les contemporains comme des découvertes de première importance. Le plus grand astronome de la période, W. Campbell, le reconnaît immédiatement, ainsi que E. Hertzsprung, le spécialiste avec N. Russel du spectre des étoiles. Les données de Slipher sont les seules disponibles et elles sont utilisées par H. Curtis lors du « Grand Débat » de 1920, mais surtout par Hubble pour déterminer sa relation entre les vitesses radiales et la distance des nébuleuses spirales. Par ailleurs, les astronomes intéressés par les implications cosmologiques de la Relativité Générale, comme par exemple A. Eddington et W. de Sitter, utilisent les résultats de Slipher pour essayer de valider leurs hypothèses. Cette reconnaissance de la grande valeur des travaux de Slipher par ses contemporains contraste avec la place restreinte qui lui est faite dans les publications historiques sur la question des galaxies. Certains ont mis l'accent sur le rôle néfaste de la personnalité de son directeur, P. Lowell, dont les conceptions sur la planète Mars étaient loin de faire l'unanimité et qui en outre avait développé une polémique agressive avec le directeur de l'observatoire Lick, W. Campbell, polémique dans laquelle il avait entraîné Slipher. En réalité, l'étude des documents d'archives montre que ce facteur n'a pas été prépondérant, d'autant que Lowell décède en 1916, alors que les travaux de Slipher sont en plein développement. Un second point tient à sa personnalité réservée. Slipher hésite à mettre en valeur ses résultats et nous voyons dans la correspondance, ses interlocuteurs le pousser à publier. Alors que ses travaux sont bien connus des contemporains, grâce aux présentations dans les congrès d'astronomie, les auteurs actuels qui se basent sur les grands journaux, n'y retrouvent que peu de publications de Slipher. Enfin, la forte personnalité de Hubble et le caractère achevé de ses travaux, en particulier la « constante de Hubble », utilisée encore actuellement, contribuent à placer au second plan l'apport de Slipher qui fut pourtant aussi décisif que l'ont été les travaux de Tycho Brahé pour l'élaboration des trois lois de Kepler.

La question historique des galaxies est parfois présentée comme simplement résolue par la mesure de la distance de quelques-unes d'entre elles par E. Hubble au cours de l'année 1924. Les études factuelles, par plusieurs historiens, des découvertes réalisées principalement autour du premier quart du XXe siècle, montrent que cette évolution est plus progressive. À partir de l'exemple de Slipher, et grâce à ses notes et à sa correspondance, nous nous sommes penchés sur le processus épistémologique de construction du modèle de l'objet galaxie. Il nous a semblé en effet que la notion de modèle s'appliquait de façon plus pertinente à cette innovation conceptuelle que celle de changement de paradigme de Thomas Kuhn ou que le schéma poppérien des conjectures et réfutations. Plusieurs ingrédients participent à la construction de ce modèle. Ils sont de nature théorique et observationnelle. Notons que l'observation du spectre, de type stellaire, son interprétation en termes de vitesses radiale, gigantesques pour l'époque, et de vitesses de rotation, mais aussi la notion de nébuleuse par réflexion, précèdent le recours aux théories explicatives, celle de Laplace d'abord, puis celle de Chamberlin et Moulton. Il n'existe aucun paradigme pour l'étude des nébuleuses et donc rien à remettre en cause. Le premier modèle proposé par Slipher permet de considérer la nébuleuse spirale comme une masse en rotation au centre de laquelle la partie la plus brillante, le noyau, serait une étoile en formation, le reste de la matière nébuleuse devant former ensuite un cortège planétaire. Mais, très vite, certaines observations de Slipher contredisent ce modèle, et de nouvelles données lui font envisager ces objets comme autant de systèmes semblables à notre propre Galaxie, en accord avec les idées développées par E. Kant en 1775. De nouveaux apports à ce modèle viendront des observations, comme la résolution en étoiles par les télescopes de plus grand diamètre et la mesure de distance en 1924, mais aussi des théories, celles de la dynamique avec Lindblad dans les années 1940, puis dans les années 1960, les ondes de densité de Lin et al. Ce second modèle sera conservé et amélioré mais pas remis en cause. De compliqué, ce modèle devient complexe avec l'essor de la radioastronomie, dans les années 1950, qui introduit la notion, non encore élucidée, de matière sombre pour expliquer certains aspects paradoxaux des courbes de rotation des galaxies.

Nous avons montré enfin qu'une nouvelle spécialité au sein de l'astronomie, l'astrophysique extragalactique, a pris naissance dans un contexte particulier. Là encore Slipher est l'un des premiers à se consacrer entièrement, pendant une période d'une dizaine

d'années, à l'étude de ces nébuleuses et nous avons pu découvrir, au cours de l'analyse des diverses sources, que cette spécialité était apparue aux États-Unis, dans certains observatoires au statut particulier et que l'Europe n'y avait pas pris une part significative. C'est en effet dans des observatoires privés, celui de Lowell, puis celui du Mont Wilson, que la plupart des études ont été conduites. Libérés des contraintes qui pesaient sur les autres astronomes (service de l'heure, météorologie, observations méridiennes), jouissant d'une grande latitude pour choisir leur objet de recherches, Slipher et Hubble, dans ces observatoires, ont pu consacrer une grande partie de leur temps à un sujet encore peu exploré. Au contraire, en France, le sujet intéresse peu. De plus, les astronomes, peu nombreux, sont surchargés de tâches nombreuses et répétitives qui les empêchent de se consacrer à d'autres questions. La structure pyramidale ne laisse aucun espace de liberté aux astronomes. Et pourtant, au moins au moment où Slipher réalise ses principales découvertes, la France possède les instruments suffisants pour ce type de recherches. Plus tard les financements feront défaut et les astronomes français ne pourront rentrer dans le domaine de l'astrophysique extragalactique. Il faudra attendre la seconde moitié du XXe siècle pour qu'une prise de conscience aboutisse à un changement de cap marqué par l'ouverture de l'observatoire de Haute-Provence.

Ainsi, en cheminant aux cotés de Vesto Slipher, en rencontrant ses interlocuteurs et ses collègues, nous a-t-il été possible de voir apparaître, au sein des nébuleuses, le concept de galaxies, très fructueux pour l'astronomie, et se développer une nouvelle spécialité, l'astrophysique extragalactique et son évolution vers la cosmologie observationnelle.

Résumé

Parmi les objets célestes les astronomes ont dès le XVIIe siècle avec, en particulier Charles Messier, identifié un type particulier: les nébuleuses. William et John Herschel entreprennent leur recensement. Avec Lord Rosse un groupe particulier de nébuleuse va faire l'objet de recherches : les nébuleuses spirales. Avec la spectroscopie inaugurée en astronomie par William Huggins les nébuleuses gazeuses avec leurs raies d'émission sont séparées des nébuleuses spirales dont le spectre est de type stellaire.

Matériel et méthodes.

Nos sources proviennent d'archives, principalement de l'observatoire Lowell, mais aussi de celui de Lick dépouillées par William Hoyt et de l'ensemble des publications scientifiques sur le sujet. Nous avons aussi utilisé de nombreuses sources secondaires tant historiques que philosophiques.

L'objet de notre étude est la naissance de l'astronomie extragalactique tandis que l'objet scientifique étudié est représenté par les nébuleuses, principalement spirales. Notre projet est de faire surtout un travail d'historien consistant à retracer le plus précisément possible, à l'aide des archives et des travaux publiés, les débuts de l'étude des objets qui deviendront les galaxies. Dans un second temps nous avons essayé d'analyser les conditions épistémologiques de cette naissance, à travers les instruments, les images, les observations et les mesures. Il nous est apparu que le concept de modèle était le plus fructueux pour décrire l'évolution des conceptions des astronomes sur cet objet.

1. Étude historique

L'étude véritablement systématique des nébuleuses spirales commence par leur photographie avec James Keeler et leur étude spectrale par Edward Fath à l'observatoire américain Lick.

1.1. Les travaux de Vesto Melvin Slipher.

Cet astronome commence sa carrière en 1901 à l'observatoire Lowell à Flagstaff dans l'Arizona, fondé et dirigé par Lowell. Toute sa carrière se déroulera dans cet observatoire et sera consacrée à la spectrographie. Il met au point la lunette de 24 pouces couplée à un spectroscope et commence par l'étude des planètes et des étoiles.

1.1. 1. Les travaux d'observations et de mesures.

Ses travaux sur les nébuleuses spirales commencent en 1909 par la Grande nébuleuse d'Andromède. Il réalise des spectres, et fort de son expérience, il repère, sans mesure, deux

phénomènes visibles: un décalage spectral qui témoigne de leur déplacement sur la ligne de visée et une inclinaison des raies qui indique l'existence d'une rotation.

Le travail consistant à mesurer les vitesses radiales, et qu'il sera le seul à réaliser de façon régulière, sera poursuivi jusqu'en 1921. Dès 1913 il annonce la très grande vitesse radiale de ces objets qui surpasse de 10 à 20 fois celle des étoiles. Ses travaux lui valent une reconnaissance immédiate de ses pairs. Il poursuit également ses observations sur la rotation de ces objets mais ne réalise cependant que trois mesures. D'autres, comme Francis Pease, s'y essaient mais sans produire non plus un grand nombre de mesures qui sont extrêmement difficiles. Néanmoins, en couplant ses mesures de rotation avec une observation très fine des bandes sombres présentes dans les nébuleuses, Vesto Slipher arrive à proposer une explication cohérente de la rotation de la nébuleuse et de ses bras spiraux. Sur ce point, les controverses avec Adriaan van Maanen, puis avec Bertil Lindblad, s'éteindront au bénéfice de Slipher, relayé dès 1948 par Edwin Hubble.

1.1.2. En raison du succès de ses travaux, Slipher est nommé président de la Commission des Nébuleuses de l'Union Astronomique Internationale. Il exercera deux mandats de trois ans entre 1922 et 1928. Il met en place les conditions d'une coopération internationale notamment dans les domaines de la nomenclature et de la classification des objets. Il a permis aux idées du jeune Hubble de faire leur chemin au sein de la Commission dont ce dernier prendra ensuite la présidence.

1.1.3. Slipher entretient des relations avec de nombreux astronomes. Sa correspondance avec un de ses professeurs à l'université d'Indiana, John Miller et avec Lowell qui réside à Boston ont éclairé, par leur détail, notre étude de la façon de travailler de Slipher. Sa correspondance avec deux astronomes prestigieux : William Campbell, directeur de l'observatoire Lick et Edwin Hubble au Mont Wilson complètent ces informations et illustrent les relations qui s'exercent entre membres de la même communauté scientifique.

Les travaux de Slipher rencontrent un vif succès et ses mesures de vitesses radiales sont largement utilisés en particulier lorsqu'il s'agit de tester les applications cosmologiques de la Relativité Générale. Ce sont surtout Arthur Eddington et Willem de Sitter qui en feront le plus grand usage. Ce dernier teste deux modèles cosmologiques, celui d'Einstein et le sien propre. Enfin, c'est avec les mesures de vitesse radiales de Slipher et ses propres mesures de distance que Hubble établira en 1930 sa fameuse relation vitesse-distance des galaxies.

2. Étude épistémologique.

L'étude qui a contribué à démembre le concept de nébuleuses est un excellent exemple de la manière dont travaillent les astronomes intéressés à la « nouvelle » astronomie que constitue l'astrophysique.

2.1. Les instruments utilisés sont constitués, outre les télescopes, par la spectrographie associant un prisme et un appareil photographique. Ce qui est particulier dans ce domaine des nébuleuses c'est que le caractère diffus et la faible luminosité des objets oblige les astronomes eux-mêmes à s'impliquer fortement dans la réalisation de leurs instruments. Le second point réside dans le caractère particulier de l'image produite sous la forme d'un spectre sans relation formelle avec l'image de la nébuleuse.

2.2. Les images ainsi produites sont plus des outils sur lesquels sont effectuées des mesures que des représentations de l'objet.

2.3. Les mesures sont précédées par une phase où les phénomènes sont appréhendés d'après l'examen visuel du spectre : décalage des raies spectrales indiquant une vitesse de déplacement et inclinaison des raies traduisant la rotation. Puis Slipher passe aux mesures. La précision ne joue pas immédiatement un rôle dans la mesure où l'ordre de grandeur est l'information essentielle. La précision ne devient nécessaire que lorsque ces mesures sont associées à d'autres éléments qui permettent de définir des relations (déplacement par rapport aux étoiles ou aux nébuleuse ou relation de Hubble entre la vitesse radiale et la distance).

2.4. Les hypothèses proposées par Vesto Slipher à partir de ses observations lui font envisager successivement deux modèles. Le premier, soutenu de 1913 à 1916, est sous-tendu par la théorie de la nébuleuse primitive de Laplace modifiée au début du siècle par Chamberlin et Moulton. Mais très vite Slipher s'aperçoit que les prévisions issues de ce modèle ne cadrent pas avec l'ensemble de ses observations. Cela l'amène à proposer un second modèle, celui dit des univers-îles qui fait des nébuleuses spirales des amas d'étoiles en récession par rapport non seulement à notre propre Galaxie, mais aussi entre elles. C'est finalement ce modèle, renforcé par les mesures de distance de Edwin Hubble, les études de Bertil Lindblad et de bien d'autres, qui, constamment amélioré, persiste aujourd'hui.

3. La naissance de l'astrophysique extragalactique.

3.1. L'astrophysique naît vers 1859 avec les travaux de Kirchner et Bunsen. Elle se développe principalement autour de l'astronomie solaire et stellaire principalement aux États-Unis ; En témoigne la création de journaux spécifiques comme l'Astrophysical Journal.

3.2. L'astrophysique extragalactique émerge comme une spécialisation au sein de l'astrophysique autour d'astronomes qui consacrent une grande partie de leurs travaux de recherche à ce thème comme d'abord Vesto Slipher, suivi par Edwin Hubble puis Harlow Shapley. Ce développement se déroule aux États-Unis surtout dans quatre observatoires privés : Lowell, Lick, Mont Wilson et Harvard. Une étude bibliométrique portant sur les revues publiées dans la période 1900-1939 confirme ces points de vue.

3.3. L'analyse du retard français.

Souvent ne sont évoqués que le défaut de télescopes de grand diamètre et le projet de la Carte du Ciel. En réalité ce retard, qui touche non seulement les études des nébuleuses mais aussi toute l'astrophysique, est multifactoriel. La France n'est d'ailleurs pas la seule à être touchée, les grands pays comme le Royaume-Uni et l'Allemagne accusent un retard semblable.

La France est correctement équipée en télescopes au moment où sont réalisés les premiers spectres des nébuleuses avec les mesures de vitesses radiales et les études des rotations. Plus tard les télescopes de grand diamètre feront défaut mais cette limite n'empêchera pas un pays comme la Suède de réaliser des travaux importants sur les nébuleuses.

Les observatoires français ont une structure fortement centralisée laissant peu de part aux initiatives individuelles. Ils sont déconnectés du milieu universitaire ce qui a deux conséquences : d'une part, peu d'étudiants s'orientent vers l'astronomie et d'autre part le lien avec d'autres disciplines comme la physique sont laissées à quelques initiatives individuelles.

Le financement des observatoires, totalement assuré par l'État, est insuffisant et la Première Guerre mondiale ne fera qu'accentuer ce déficit. Le mécénat, si important aux États-Unis, fait pratiquement défaut, à l'exception toutefois de la création de l'observatoire de Nice. Mais ce dernier au lieu de s'orienter vers des recherches originales se fond dans le moule commun.

Mais les astronomes eux-mêmes, pourtant bien informés de l'état des multiples développements scientifiques réalisés outre-atlantique se désintéressent de ces sujets. À aucun moment on ne voit apparaître, lors des rapports annuels des observatoires, un quelconque intérêt pour l'étude des nébuleuses.

Ces défauts sont bien mis en évidence par tous ceux qui ont été chargés d'analyser la situation des observatoires, comme en témoignent les rapports publiés en 1920, 1923, 1930 et 1931.

Le changement surviendra après la Seconde Guerre Mondiale avec la création de l'observatoire de Haute Provence puis avec celle des instances européennes source de grands projets.

À partir d'un personnage qui a traversé une grande partie du XXe siècle et avec tous ceux avec qui il a correspondu et échangé des idées sur les nébuleuses, il a été possible de voir naître une nouvelle spécialité astronomique qui fait émerger au sein de l'ensemble hétéroclite des nébuleuses le concept aujourd'hui évident de galaxies.

Index des auteurs cités

Abetti, 109
Aitken, 102
Allamel-Raffin, 185, 196
Ames, 119
Arago, 18
Argelander, 13
Auzout, 173
Baade, 79, 81, 159, 233
Bachelard, 173, 180
Baillaud, 109, 133, 244
Barnard, 44, 103, 110, 113, 236
Berendzen, 6, 10
Bernard, 1, 167
Bigourdan, 109, 111, 112, 115, 119
Bischoffsheim, 249
Bohlin, 24, 46, 103, 176
Bosles, 129
Bourget, 67
Bowen, 119, 166
Boyer, 161
Brahé, 3, 14, 161, 179, 180, 189
Brasch, 124, 205
Brashear, 37, 38, 124
Buisson, 67
Campbell, 8, 11, 37, 38, 48, 49, 50, 53, 55, 57, 60, 66, 75, 85, 102, 105, 109, 120, 121, 122, 126, 127, 133, 143, 146, 231, 241
Carnegie, 66, 238, 245, 248
Carnot, 164
Chamberlin, 28, 40, 51, 67, 101, 102, 145
Chéseaux, 21
Clayton, 162
Clerke, 27, 41
Cogshall, 32, 36
Comte, 3, 4
Conwell, 246
Copernic, 2, 179
Cornell, 246
Curtis, 11, 69, 70, 75, 77, 90, 110, 112, 120, 134
Curtiss, 49
Dagognet, 179
Danjon, 251
Davoust, 242
Descartes, 17
Deslandres, 109, 133
Doig, 79
Douglass, 35, 36
Dreyer, 30, 31, 109, 112, 116, 117, 199
Ducan, 8
Duhem, 2
Dukes, 246
Duncan, 9, 29, 46, 57, 73, 102, 103
Dyson, 109
Eddington, 77, 107, 120, 133, 134, 135, 136, 137, 140, 144, 230
Einstein, 120, 135, 136, 137
Fabry, 67, 109, 235, 236
Fath, 8, 22, 23, 24, 25, 26, 37, 41, 42, 43, 45, 46, 49, 52, 53, 54, 62, 100, 112, 120, 148, 205, 231
Fehrenbach, 239
Feyerabend, 2
Fizeau, 21, 57, 68, 158, 163, 166, 174, 181
Flammarion, 188
Flamsteed, 14
Foucault, 166, 240
Fowler, 29, 109
Fraser, 247
Friedmann, 135, 138
Frost, 41, 42, 123
Galilée, 3, 13, 154, 155, 163, 168, 179
Gauss, 175, 178
Gingerich, 6, 10, 240
Gosset, 175
Grotrian, 166
Guillemin, 188, 194
Hacking, 7, 161, 163, 164, 181
Hagen, 109, 119, 236
Hale, 66, 110, 122, 123, 124, 133, 229, 247, 248
Halley, 14, 40
Hanson, 161

Harper, 106
Hart, 81
Hartmann, 44, 83
Heidelberger, 153, 161, 162
Heisenberg, 196
Hentschel, 195, 196
Herschel, 8, 13, 14, 15, 16, 18, 23, 27, 31, 52, 112, 158, 168, 178, 183, 185, 188, 189, 196, 198, 205, 206, 207, 241
Hertzsprung, 44, 54, 55, 56, 79, 103, 133, 235
Hetherington, 6, 80, 81, 125, 136
Hodierna, 14
Holmberg, 233, 235
Hopkins, 246
Horn d'Arturo, 110
Hoskin, 6, 10, 205, 229
Hoyt, 9, 44, 144
Hubble, 8, 11, 73, 79, 80, 81, 106, 108, 110, 113, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 123, 124, 127, 129, 130, 131, 133, 134, 135, 138, 143, 144, 159, 160, 168, 170, 176, 177, 182, 198, 201, 205, 225, 230, 233, 238, 239, 246, 248
Huggins, 19, 20, 21, 22, 24, 31, 41, 57, 100, 162, 183, 201, 211, 212
Humason, 123, 129, 130, 138, 143, 230, 233
Humboldt, 17
Hussey, 36
Hutington, 246
Jeans, 75, 78, 79, 119, 159, 237
Kant, 17, 22, 26, 27
Kapteyn, 77, 103
Keeler, 22, 23, 31, 43, 69, 70, 103, 124, 147, 198, 241
Kepler, 3, 220
Knox-Shaw, 109, 111, 119
Kuhn, 2, 161, 162, 175, 180, 182, 226
La Place, 51
La Rochefoucault, 38
Lambert, 17, 26
Lampland, 38, 52, 56, 75, 119
Langmuir, 159
Lankford, 32, 121, 238, 240
Laplace, 17, 18, 21, 26, 28, 31, 66, 85, 101, 107, 145, 175, 178, 201, 206, 212, 220
Latour, 143
Le Verrier, 173, 244, 251
Leavitt, 79, 144, 170
Lecointe, 109
Legay, 168
Lemaître, 120, 135, 138, 140, 230
Leonard, 36
Lick, 9, 22, 24, 37, 43, 48, 54, 60, 62, 65, 66, 69, 70, 121, 130, 147, 198, 234, 241, 246
Lindblad, 124, 127, 235
Lowell, 8, 10, 11, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 44, 46, 48, 51, 53, 56, 63, 85, 105, 113, 120, 121, 122, 127, 130, 140, 142, 143, 144, 145, 146, 162, 198
Lundmark, 75, 78, 79, 103, 113, 119, 130, 134, 137, 144, 159, 170, 200, 223, 233
Lyot, 243
Maanen, 7, 11, 68, 69, 70, 71, 72, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 90, 102, 119, 124, 125, 127, 128, 129, 143, 159, 160, 182, 183, 203, 217, 233, 235, 238
Mach, 154
MacLaughlin, 78
Madwar, 119
Magellan, 13, 106, 205
Maison, 244
Marius, 14
Mayr, 14
McDowell, 38
Méchain, 14
Merril, 120
Messier, 14, 66, 188, 198
Michelson, 181
Miller, 8, 32, 33, 44, 50, 51, 59, 88, 101, 102, 120
Millikan, 181
Minkowski, 233
Mont Hamilton, 247
Mont Wilson, 248
Moore, 60, 62, 66, 136
Morgan, 245
Morley, 181
Moulton, 26, 28, 40, 51, 67, 102, 145
Munger, 34
Newall, 109
Newton, 3, 17, 180, 182
Nicholson, 34, 72, 75, 79
Oepik, 77
Olbers, 21
Paloque, 242

Parsons, 14, 16, 67
Parvulesco, 119
Paty, 182
Pearson, 175
Pease, 60, 62, 66, 69, 76, 77, 78, 81, 87, 90, 130, 136
Penzias, 157
Perot, 67, 235
Perrine, 69, 70, 105, 106
Perrotin, 242
Picard, 173
Pickering, 25, 35, 43, 102, 241
Popper, 144
Proctor, 104, 193
Ptolémée, 2, 173
Randers, 233
Rees, 37
Reynolds, 59, 77, 79, 109, 112, 116, 119, 125, 126, 127, 174, 182, 233, 237
Ricco, 109
Richardson, 158
Richer, 173
Ritchey, 69, 73, 80, 124, 159
Roberts, 67, 110, 117, 119, 185, 201, 203, 211, 212
Robertson, 138
Rockefeller, 246, 247
Roëmer, 181
Römer, 166, 170
Roosevelt, 245
Rosse, 14, 16, 23, 67, 183, 185, 188, 196, 198, 200, 201, 205, 206
Russel, 54, 241
Russell, 246
Russo, 167
Scheiner, 19, 22, 30, 31, 41, 42, 100, 148
Schiaparelli, 34
Schmid, 168
See, 36
Seyfert, 233
Shapere, 162
Shapley, 77, 78, 79, 80, 81, 112, 119, 125, 128, 130, 131, 133, 134, 144, 159, 160, 170, 188, 225, 230, 231, 246, 248
Silberstein, 136, 137
Sitter, 11, 120, 133, 135, 136, 137, 140, 230
Smart, 78
Smith, 6, 11, 49, 81, 196
Stanford, 246
Steinle, 162
Stockes, 211
Strömberg, 136, 138, 144
Struve, 21
Sufi, 13, 205
Sykes, 36
Taft, 245
Tenn, 144
Thomas, 17, 36, 40, 67, 161, 162, 167, 175, 180
Todd, 30, 31
Truman, 106
Turner, 31, 57
Vanderbilt, 246
Vaucouleurs, 28, 129, 131, 235
Vespucci, 13
Whitford, 233
William, 8, 9, 14, 15, 16, 18, 22, 27, 35, 37, 48, 55, 66, 67, 105, 133, 144, 158, 175, 211
Wirtz, 11, 106, 138, 236
Wolf, 21, 23, 45, 53, 57, 60, 65, 66, 81, 104, 126, 130, 133, 136, 148, 236
Wright, 17, 22, 26, 55, 59, 66, 109, 110, 112, 113, 119, 133, 136
Yerkes, 247
Young, 31, 106, 189
Zanstra, 119
Zwicky, 130, 146, 233

Références

Adams, W.S., 1938. Francis Pease (1881-1938). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 50, 119-121.

Aitken, R.G., 1906. The nebular hypothesis. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 18, 111-122.

Aitken, R.G., 1928. William Wallace Campbell (1862-1938). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 50, 204-209.

Allamel-Raffin, C. La production et les fonctions des images dans la recherche en physique des matériaux et en astrophysique. 2005. Strasbourg, Université Louis Pasteur.

Alspector-Kelly, M., 2004. Seeing the unobservable: van Fraassen and the limits of experience. Synthese 140, 331-353.

Anonymous, 1914. AAS. Report of the seventeenth meeting. Popular Astronomy 22, 551.

Anonymous, 2003. National Research Council transcript of the Great Debate. Bulletin of the Yerkes Observatory of the University of Chicago 2, 171-217.

Armatte, M., Dahan Dalmenico, A., 2004. Modèles et modélisations, 1950-2000: Nouvelles pratiques, nouveaux enjeux. Revue d'Histoire des Sciences 57, 243-303.

Babcock, H.W., 1939. The rotation of the Andromeda nebula. Lick Observatory Bulletin 19, 41-51.

Barnard, E.E., 1910. On a great nebulous region and on the question of absorbing matter in space and the transparency of the nebulae. Astrophysical Journal 31, 8-14.

Barnard, E.E., 1913. Dark regions in the sky suggesting an obscuration of light. Astrophysical Journal 38, 496-501.

Baryshev, Y., Teerikorpi, P., 2002. Discovery of Cosmic fractals. World Scientific, New Yersey, London.

Berendzen, R., Hart, R., Seeley, D., 1984. Man discovers the galaxies. Columbia University Press, New York.

Bigourdan, G., 1922. 28. Commisssion des nébuleuses. Transactions of the International Astronomical Union I, 91-94.

Bohlin, K., 1907. Versuch einer Bestimmung der parallaxe des Andromedenebels. Astronomische Nachrichten 176, 205.

Bosles, J., 1928. Les nébuleuses spirales. Cours d'astronomie. Volume III: astrophysique. Librairie scientifique, Hermann et Cie., Paris, pp. 662-673.

Brashear, R., Hetherington, N.S., 1991. The Hubble-van Maanen conflict over internal motions in spiral nebulae: Yet more information on an already old topic. Vistas in Astronomy 34, 415-423.

Brèuck, M.T., 2002. Agnes Mary Clerke and the rise of astrophysics. Cambridge University Press, Cambridge.

Buisson, H., Fabry, C., Bourget, H., 1914. An application of interference to the study of orion nebula. Astrophysical Journal 40, 241-259.

Campbell, W.W., 1910. Some preliminary results deduced from the radial velocities of stars. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 4, 353-355.

Chamberlin, T.C., 1916. The planetesimal hypothesis. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 10, 472-497.

Chant, C.A., 1934. Willem de Sitter (1872-1934). Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 29, 1-3.

Clément, P., 1994. Conceptions et connaissances. P. Lang, Berne.

Clerke, A.M., 1903. Problems in astrophysics. Adam & Charles Black, London.

Clerke, A.M., 1901. The Herschels and modern astronomy. Cassell and company, limited, London.

Comte Auguste, 1844. Traité Philosophique d'Astronomie Populaire.New York - London. Imprimerie de Fain et Thuvot, Paris.

Comte Auguste, 1842. Cours de Philosophie Positive. Rouen frères, Paris.

Cook, A.H., 1998. Edmond Halley. Charting the heavens and the seas. Clarendon, Oxford.

Cortie, A.L., 1919. Photographic evidence for the formation of stars from nebulae. The Observatory 42, 398-401.

Crommelin, A.C.D., 1918. Are the Spiral Nebulæ External Galaxies. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 12, 33.

Crowe, M.J., 1994. Modern theories of the universe from Herschel to Hubble. Dover Publications, New York.

De Vaucouleurs, G., 1950. Orientation spatiale et sens de rotation de la spirale NGC 2146. Annales d'Astrophysique 13, 362-366.

De Vaucouleurs, G., 1958a. L'exploration des galaxies voisines par les méthodes optiques et radio-électriques. Masson, Paris.

De Vaucouleurs, G., 1958b. La photographie astronomique, du daguerréotype au télescope électronique. Albin Michel, Paris.

Drake, S., Levere, T.H., Shea, W.R., 1990. Nature, experiment, and the sciences. Essays on Galileo and the history of science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Dreyer, J.L.E., 1904. Survey of the spiral nebula Messier 33 by means of photographs taken by Dr. Isaac Roberts, F.R.S. Proceedings of the Royal Irish Academy 25, 3-30.

Duncan, J.C., 1952. Carl Otto Lampland (1873-1951). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 64, 293-296.

Eddington, A.S., 1917. The motion of spiral nebulae. Ninety-seventh Annual General Meeting. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 77, 375-382.

Eddington, A.S., 1923. The mathematical theory of relativity. Cambridge University Press, Cambridge (UK).

Eddington, A.S., 1931. The recession of the extra-galactic nebulae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 92, 3-7.

Einstein, A., 1915. Die Feldgleichungen der Gravitation. Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte 847.

Einstein, A., 1917. Considérations cosmologiques sur la théorie de la relativité générale (trad). Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte 142-152.

Eisenstaedt, J., 2002. Einstein et la relativité générale. CNRS éditions, Paris.

Fabry, C., Buisson, H., 1911. Application of the interference method to the study of nebulae. Astrophysical Journal 33, 406-409.

Farrell, J., 2005. The day without yesterday. Lemaître, EInstein and the birth of modern cosmology. Thunder's mouth Press, New York.

Fath, E.A., 1911. The spectra of spiral nebulae and globular star clusters. Astrophysical Journal 33, 58-63.

Fath, E.A., 1913. The spectra of spiral nebulae and globular star clusters. Third paper. Astrophysical Journal 37, 198-203.

Fath, E.A., 1909b. The spectra of some spiral nebulae and globular star clusters. Lick Observatory Bulletin 5, 71-77.

Fath, E.A., 1909c. The Spectra of Some Spiral Nebulae and Globular Star Clusters. Ph D Thesis 1.

Fath, E.A., 1909a. The Spectra of Some Spiral Nebulæ and Globular Star Clusters. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 21, 138-143.

Fath, E.A., 1928. The elements of astronomy. McGraw-Hill, New York.

Faye, H., 1931. Cours d'Astronomie de l'Ecole Polytechnique. Gauthier-Villars, Paris.

Fehrenbach, C., 1990. Des hommes, des télescopes, des étoiles. Editions du CNRS, Paris.

Feynman, R., 1999. Le cours de physique de Feynman. Mécanique 1. Dunod, Paris.

Fitzgerald, A.P., 1964. Earl C. Slipher (1883-1964). Irish Astronomical Journal 6, 197-198.

Flammarion, C., 1880. Astronomie populaire. C. Marpon et E. Flammarion, Paris.

Fox, M.V., 1997. Edwin Hubble. American astronomer. Franklin Watts, New York.

François, N.M., 1879. Le révérend père Secchi. Sa vie, son observatoire. Paris.

Friedman, A., 1922. On the curvature od Space (trad.). Zeitschrift für Physik 10, 377-386.

Galilée, 1989. Le messager céleste. Albert Blanchard, Paris.

Gillispie, C.C., Fox, R., Grattan-Guinness, I., 1997. Pierre-Simon Laplace, 1749-1827. a life in exact science. Princeton University Press, Princeton, N.J.

Gingerich, O., 1984. Astrophysics and twentieth-century astronomy to 1950 30. Cambridge University Press, Cambridge Cambridgeshire.

Guillaume, P., 1993. Histoire sociale de la France au XXe siècle. Masson, Paris.

Guillemin, A., 1889. Les nébuleuses. Notions d'astronomie sidérale. Hachette, Paris.

Hacking, I., 1997. Representing and intervening. Cambridge University Press, Cambridge (UK).

Hall, J.S., 1970. V.M. Slipher's Trailblazing Career. Sky and Telescope 39, 84-86.

Hanson, N.R., 2001. Modèles de la découverte. Dianoïa, Chennevières-sur-Marne.

Heidelberger, M., 2003. Theory-ladenness and scientific instruments in experimentation. In Radder, H. (Ed.), The philosophy of scientific experimentation. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, pp. 138-151.

Hentschel, K., 2000. The role of visual representation in astronomy. History and research practice. Verlag, Thun und Frankfurt am Mein.

Herschel, W., 1818. Astronomical observations and experiments, selected for the purpose of ascertaining the relative distances of clusters of stars, and of investigation how far the power of our telescopes may be expected to reach into space when directed to ambiguous celestial objects. Philosophical Transactions of the Royal Society 108, 429-470.

Hetherington, N.S., 1971. The measurement of radial velocities of spiral nebulae. ISIS 62, 309-313.

Hetherington, N.S., 1975. The simultaneous 'discovery' of internal motions in spiral nebulae. Journal for the History of Astronomy 6, 115-125.

Hirshfeld, A.W., 2001. Parallax. The race to Measure the Cosmos. W.H. Freeman and Co., New York.

Holmberg, G., 1939. On the interpretation of the spectroscopically observed rotations of galaxies. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 99, 660-661.

Hoskin, M.A., 1997. The Cambridge illustrated history of astronomy. Cambridge University Press, Cambridge.

Hoskin, M.A., 1976. The 'Great Debate': what really happened. Journal for the History of Astronomy 7, 169-182.

Hoskin, M.A., 1982. The first drawing of a spiral nebula. Journal for the History of Astronomy 13, 97-101.

Houk, R., 2000. From the hill. The story of Lowell Observatory. Lowell Observatory, Flagstaff, Ariz.

Hoyt, W.G. Vesto Melvin Slipher November, 11 1875 - November 8, 1969. Biographical Memoirs 52, 411-449. 1980.

Hubble, E.P., 1943. The direction of rotation in spiral nebulae. Astrophysical Journal 97, 118.

Hubble, E.P., 1935. Angular Rotations of Spiral Nebulae. Astrophysical Journal 81, 334.

Hubble, E.P., 1937. The Realm of the Nebulae. Ciel et Terre 53, 194.

Hubble, E.P., 1929a. A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae. Proceedings of the National Academy of Science 15, 168-173.

Hubble, E.P., 1925. NGC 6822, a remote stellar system. Astrophysical Journal 62, 409-433.

Hubble, E.P., 1926. Extragalactic nebulae. Astrophysical Journal 64, 321-369.

Hubble, E.P., 1927. The classification of spiral nebulae. The Observatory 50, 276-281.

Hubble, E.P., 1928. Commisssion 28 (Nébuleuses et amas stellaires.). Transactions of the International Astronomical Union III, 250-251.

Hubble, E.P., 1929b. A spiral nebula as a stellar system. Messier 31. Astrophysical Journal 69, 103-164.

Hudson, C.J., 1939. David Todd (1855-1939). Popular Astronomy 47, 472-477.

Hufbauer, K., 2003. Astronomy. In Krige, J., Pestre, D. (Eds.), Companion to science in the twentieth century. Routledge - Taylor and Francis., London, New York, pp. 635-649.

Huggins, W., 1864. On the spectra of some of the nebulae. Philosophical Transactions of the Royal Society 154, 437-444.

Huggins, W., 1873. On the Proper Motions of the Nebulæ. Astronomical register 11, 269-271.

Jeans, J.H., 1917. Internal motion in four spiral nebulae. The Observatory 40, 60-61.

Johnson, M., 1950. John Reynolds. Obituary notes. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 110, 131-133.

Joly, M., 1993. Introduction à l'analyse de l'image. Nathan, Paris.

Joy, A.H., 1956. Walter Sydney Adams (1876-1956). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 68, 285-295.

Kant, E., 1984. Histoire générale de la Nature et théorie du ciel. Vrin, Paris.

Kaspi, A., Durpaire, F., Harter, H., Lherm, A., 2006. La civilisation américaine. Presses Universitaires de France, Paris.

Keeler, J.E., 1908. Photographs of nebulae and clusters made with the Crossley reflector. Publications of Lick Observatory 8, 1.

Koyré, A., 1992. Du monde clos à l'univers infini. Gallimard, Paris.

Kragh, H., 1999. Cosmology and controversy. Princeton University Press, Princeton.

Kuhn, T., 1990. La tension essentielle. Tradition et changement dans les sciences. Gallimard, Paris.

Lambert, J.H., 1761. Lettres cosmologiques sur l'organisation de l'Univers. G.H.Van Keulen, Amsterdam.

Lankford, J., Slavings, R.L., 1997. American astronomy community, careers, and power, 1859-1940. University of Chicago Press, Chicago.

Laplace, P.S.d., 1878. Oeuvres complètes de Laplace publiées sous les auspices de l'Académie des Sciences, par MM les secrétaires perpétuels. Gauthier-Villars, Paris.

Le Moigne, J.-L., 1999. La complexité. In Lecourt, D. (Ed.), Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences. PUF, Paris, pp. 205-215.

Lemaître, G., 1927. Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques. Annales de la Société Scientifique de Bruxelles 47, 49-59.

Leverington, D., 1995. A history of astronomy from 1890 to the present. Springer-Verlag, London.

Lin, C.C., 1970. Interpretation of Large-Scale Spiral Structure . In Wilhelm Becker and Georgios Ioannou Kontopoulos (Ed.), The Spiral Structure of our Galaxy. International Astronomical Union, p. 377.

Lindblad, B., 1940. On the interpretation of the spiral structure in the nebulae. Astrophysical Journal 92, 1-28.

Lindblad, B., 1963. On the possibility of a quasi-stationary spiral structure in galaxies. Stocholm Observatoriums Annalen. Almqvist and Wiksell, Stockholm, p. 21.

Lindblad, B., 1938. On the theory of spiral structure in the nebulae. Zeitschrift fur Astrophysics 15, 127-136.

Lindblad, B., 1964. On the circulation theory of spiral structure. Astrophysica Norvegica 9, 103-111.

Lindblad, B., Bradhe, R., 1946. On the direction of rotation in spiral nebulae. Astrophysical Journal 104, 211-230.

Lowell Putnam, W., 1994. The explorers of Mars Hill. A centennial history of Lowell Observatory. 1894-1994. Phoenix Publishing, Phoenix.

Lowell, L.A., 1935. Biography of Percival Lowell. Mac Millan, New York.

Lowell, P., 1908. Mars as the adobe of life. MacMillan, New York.

Luminet, J.P., 1997. L'invention du Big Bang. Le Seuil, Paris.

Lundmark, K., 1924b. The determination of the curvature of space-time in de Stitter's world. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 84, 747-770.

Lundmark, K., 1921. The Spiral Nebula Messier 33. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 33, 324-327.

Lundmark, K., 1924a. Determination of the apices and the mean parallax of the spirals. The Observatory 47, 279-281.

Lundmark, K. Was the Crab Nebula formed by a Supernova in 1054 A. D.? 89. 1938. Professor Östen Bergstrand Vetenskapsmannen Och Läraren. 1-1-1938.

Lundmark, K., 1932. 28. Commission des nébuleuses et des amas stellaires. Transactions of the International Astronomical Union IV, 166-174.

Lundmark, K., 1925. The motions and the distances of spiral nebulae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 85, 865-894.

Macpherson, H., 1916. The nature of spiral nebulae. The Observatory 39, 231-232.

Macpherson, H., 1926. Modern astronomy, its rise and progress. Oxford University Press, London.

Maison, L., 2003. Les observatoires italiens en 1875. Un exemple pour le renouveau de l'Astronomie française ? Nuncius 2, 577-602.

Maison, L., Le Gars, S., 2006. Jannsen, Rayet, Cornu: Trois parcours exemplaires dans la construction de l'astronomie physique en France (1860-1890). Revue d'Histoire des Sciences 59, 51-81.

Massart, F., 2005. Une histoire de l'image dans l'astrophysique et la cosmologie au XXe siècle. Atelier National de Reproduction des Thèses, Lille.

Méchain, P., 1786. Augmentations de Méchain au catalogue de Messier. Connaissance des Temps pour l'année 1789.

Melandri, P., Portes, J., 1991. Histoire intérieure des Etats-Unis au XXe siècle. Masson, Paris.

Messier, C., 1774. Catalogue des Nébuleuses & des amas d'Étoiles, que l'on découvre parmi les Étoiles fixes sur l'horizon de Paris; observées à l'Observatoire de la Marine, avec differens instruments. Mémoires de l'Académie des Sciences 435-461.

Messier, C., 1780. Catalogue des Nébuleuses & des amas d'Étoiles. Connaissance des Temps pour 1783 225-249.

Messier, C., 1781. Catalogue des Nébuleuses & des amas d'Etoiles. Connaissance des Temps pour 1784 267.

Messier, C., 1797. Observations Astronomiques, 1775-1784. Connaissance des Temps pour l'an VIII (1800).

Messier, C., 1798. Observations Astronomiques, 1770-1774. Connaissance des Temps pour l'an IX (1801) 434-465.

Mineur, H., 1938. Discours. Annales d'Astrophysique 1, 13-20.

Mineur, H., 1933. L'Univers en expansion. Hermann et Cie., Paris.

Miquel, P., 1989. La troisième république. Arthème Fayard, Paris.

Monck, W.H.S., 1890. The nebula in Andromeda and stellar photographs. The Observatory 13, 90.

Moulton, F.R., 1916. An introduction to astronomy. MacMillan Co., New York.

Olivesi, A., Nouschi, A., 1997. La France de 1848 à 1914. Nathan, Paris.

Oort, J.H., 1966. Bertil Lindblad (1895-1965). Quaterly Journal of the royal Astronomical Society 7, 329-343.

Osterbrock, D.E., 1984. James E. Keeler, pioneer American astrophysicist, and the early development of American astrophysics. Cambridge University Press, Cambridge Cambridgeshire.

Paddock, G.F., 1916. The relation of the system of stars to the spiral nebulae. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 28, 109-115.

Pease, F.G., 1915. The Radial Velocity of the Nebula N. G. C. 1068. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 27, 133.

Pease, F.G., 1917a. Photographs of nebulae with the 60-inch reflector. 1911-1916. Astrophysical Journal 52, 24-64.

Pease, F.G., 1918. The rotation and radial velocity of the central part of the Andromeda nebula. Proceedings of the National Academy of Science 4, 21-24.

Pease, F.G., 1917b. The rotation and radial velocity of the spiral nebula N. G. C. 4594. Popular Astronomy 25, 26-27.

Pease, F.G., 1916. The rotation and radial velocity of the spiral nebula N.G.C. 4594. Proceedings of the National Academy of Science 2, 517-521.

Perrine, C.D., 1916. Some determinations of the Apex and velocity of Solar motion from the radial velocities of the brighter stars, including an apparent relation to propor motion. Astrophysical Journal 44, 103-116.

Piazzy-Smyth, C., 1880. Practical spectroscopy in 1880 - The Language. The Observatory 3, 491-500.

Poincaré, H., 1920. La valeur de la science. Flammarion, Paris.

Proctor, R.A., 1869. Distribution of the Nebulæ. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 29, 337.

Pyenson, L., Sheetts-Pyenson, S., 1999. Servants of Nature. A history of scientific institutions, enterprises and sensibilities. WW Norton and Co., New York - London.

Rebérioux, M., 1975. La république radicale (1814-1914). Le Seuil, Paris.

Reichenbach, H., 1980. From Copernicus to Einstein
1019. Dover Publications, New York.

Revel, J., 1996. Jeux d'échelles. La micro analyse à l'expérience. Gallimard- Le Seuil, Paris.

Reynolds, J.H., 1913. The light curve of the Andromeda nebula (NGC 224). Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 74, 132-136.

Reynolds, J.H., 1917. Motion in the spiral nebulae M 101 and NGC 4594. The Observatory 40, 131-132.

Reynolds, J.H., 1927. The classification of the spiral nebulae. The Observatory 50, 185-189.

Ritchey, G.W., 1901. The Two-Foot Reflecting Telescope of the Yerkes Observatory. Astrophysical Journal 14, 217.

Roberts, I., 1888. photographs of the nebulæ M 31, h 44, and h 51 Andromedæ, and M 27 Vulpeculæ. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 49, 65.

Robertson, H.P., 1928. On relativistic cosmology. Philosophical Magazine 2, 835-848.

Rosse, E.O., 1926. The Scientific Papers of William Parsons, third Earl of Rosse (1800-1867). The country press, London.

Rudaux, L., De Vaucouleurs, G., 1948. Astronomie. Les astres, l'Univers. Larousse, Paris.

Russell, H.N., Dugan, R.S., Stewart, J.Q., 1927. Astronomy. Ginn and Company, Boston.

Sandage, A., 2004. Centennial History of the Carnegie Institution of Washington/ The Mont Wilson Observatory. Cambridge University Press, Cambridge (USA).

Scheiner, J., 1899a. On the spectrum of the great nebula in Andromeda. Astrophysical Journal 9, 148-150.

Scheiner, J., 1899b. Ueber das spectrum des Andromedanebels. Astronomische Nachrichten 148, 325-326.

Schoell, F.L., 1991. Histoire des Etats-Unis. Payot, Paris.

Shapley, H., 1969. Through rugged ways to the stars. Charles Scribner's sons., New York.

Shapley, H., 1944. Galaxies. Maple Press Co., New York.

Shapley, H., 1929. Note on the Velocities and Magnitudes of External Galaxies. Proceedings of the National Academy of Science 15, 565-570.

Shapley, H., 1919. On the Existence of External Galaxies. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 31, 261-268.

Silberstein, L., 1924. The curvature of de Sitter's space-time derived from globular clusters. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 84, 363-366.

Silberstein, L., 1925. The determination of the curvature radius of space-time. In reply to Dr. Knut Lundmark. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 85, 285-290.

Sitter, W.d., 1917. On Einstein's theory of gravitation and its astronomical consequences. Third paper. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 78, 3-28.

Slipher, V.M., 1916a. On the spectrum of the Nebula about Rho Ophiuchi. Lowell Observatory Bulletin 2, 155-156.

Slipher, V.M., 1916b. On the spectrum of the nebula about Rho Ophiuchi. Popular Astronomy 24, 542-553.

Slipher, V.M., 1911a. Peculiar star spectra suggestive of selective absorption of light in space. Astronomische Nachrichten 189, 6-7.

Slipher, V.M., 1921a. Dreyer nebula n° 584 inconceivably distant. New York Times 6.

Slipher, V.M., 1921c. Two nebulae with unparalleled velocities. Astronomische Nachrichten 213, 47.

Slipher, V.M., 1925. Commission des nébuleuses et des amas stellaires. Transactions of the International Astronomical Union 2, 132-141.

Slipher, V.M., 1903a. A spectographic investigation on the rotation velocity of Venus. Lowell Observatory Bulletin 1, 9-18.

Slipher, V.M., 1904a. On the spectra of Neptune and Uranus. Lowell Observatory Bulletin 1, 87-90.

Slipher, V.M., 1905. Observations of standard velocity stars with the Lowell spectrograph. Lowell Observatory Bulletin 1, 111-115.

Slipher, V.M., 1908. The spectrum of Mars. Astrophysical Journal 28, 397-404.

Slipher, V.M., 1911b. The spectrum of Halley's comet in 1910 as observed at Lowell Obervatory. Lowell Observatory Bulletin 2, 3-16.

Slipher, V.M., 1913b. The radial velocity of the Andromeda nebula. Popular Astronomy 22, 19-21.

Slipher, V.M., 1915. Spectrographic observations of Nebulae. Publications of the American Astronomical Society 3, 98-100.

Slipher, V.M., 1916c. Spectrographic observations of nebulae and star clusters (abstract). Publications of the American Astronomical Society 3, 223.

Slipher, V.M., 1921b. Spectrographic observations of the rotation of spiral nebulae (abstract). Popular Astronomy 29, 272-273.

Slipher, V.M., 1904b. The Lowell Spectrograph. Astrophysical Journal 20, 1-20.

Slipher, V.M., 1909. Peculiar star spectra suggestive of selective absorption of light in space. Lowell Observatory Bulletin 2, 1-2.

Slipher, V.M., 1913a. The radial velocity of the Andromeda Nebula. Lowell Observatory Bulletin 2, 56-57.

Slipher, V.M., 1917c. The spectrum and velocity of the nebula N.G.C. 1068 (M 77). Lowell Observatory Bulletin 3, 59-63.

Slipher, V.M., 1922. Further notes on spectrographic observations of nebulae and clusters. Popular Astronomy 30, 9-11.

Slipher, V.M., 1917b. Radial velocity observations of spiral nebulae. The Observatory 40, 304-306.

Slipher, V.M., 1917a. Nebulae. Proceedings of the American Philosophical Society 56, 403-409.

Slipher, V.M., 1918. A new type of nebular spectrum: I. The spectrum of Hubble's variable nebula NGC 2261, II. The variable nebula NGC 6729. Lowell Observatory Bulletin 3, 63-67.

Slipher, V.M., 1903b. A Spectrographic Investigation of the Rotation Velocity of Venus. Astronomische Nachrichten 163, 35-52.

Slipher, V.M., 1914a. The detection of nebular rotation. Lowell Observatory Bulletin 2, 66.

Slipher, V.M., 1914b. The discovery of Nebular Rotation. Scientific American 501.

Smith, R.W., 1982. The expanding Universe, Astronomy's 'Great Debate', 1900-1931. Cambridge University Press, Cambridge.

Strand, K.A., 1968. Ejnar Hertzsprung (1873-1967). Publications of the Astronomical Society of the Pacific 80, 51-56.

Stratton, F.J.M., 1933. President's speech on presenting Gold Medal. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 93, 476-477.

Stromberg, G., 1925. Analysis of radial velocities of globular clusters and non-galactic nebulae. Contributions from the Mount Wilson Observatory / Carnegie Institution of Washington 61, 353-363.

Tenn, J.S., 2005. Why does V.M. Slipher get so little respect ? American Astronomical Society Meeting.

Todd, D.P., 1897. A new Astronomy. American Book Company., New York, Cincinnati, Chicago.

Trouvelot, E.L., 1885. Remarques sur l'étoile nouvelle de la nébuleuse d'Andromède. Comptes-rendus de l'Académie des Sciences 101, 877.

Truman, O.H., 1916. The motions of the spiral nebulae. Popular Astronomy 24, 111.

Turner, H.H., 1901. Modern astronomy. Being some account of the revolution of the last quarter of a century. A. Constable & co., ltd, Westminster.

Université de Perpignan, 1987. François Arago. Actes du colloque national des 20, 21 et 22 octobre 1986. Universitâe de Perpignan, Perpignan.

van Maanen, A., 1923. No. 255. Investigations on proper motion. Ninth paper: Internal motion in the spiral nebula Messier 63, N.G.C. 5055. Contributions from the Mount Wilson Observatory / Carnegie Institution of Washington 255, 1-8.

Verdet, J.-P., 1990. Une histoire de l'astronomie. Editions du Seuil, Paris.

Vinck, D., 2007. Siences et Société. Sociologie du travail scientifique. Armand Colin, Paris.

Warner, B., University of Cape Town, 1983. Charles Piazzi Smyth astronomer-artist : his Cape years, l835-1845. Published for the University of Cape Town by A.A. Balkema, Cape Town.

Waterman, P.E., 1913. The present status of the problem of stellar evolution. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 25, 189-199.

Wilson, R.E., 1915b. Recent observations of the nebulae and their bearing upon the problem of stellar evolution. Popular Astronomy 23, 189-199.

Wilson, R.E., 1915a. Note on the Radial Velocities of Six Nebulæ in the Magellanic Clouds. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 27, 86.

Wirtz, C., 1918. Über die Bewegungen der Nebelflecke. Astronomische Nachrichten 206, 110-115.

Wirtz, C., 1922. Notiz zur Radialbewegung der Spiralnebel. Astronomische Nachrichten 216, 452-453.

Wirtz, C., 1924. De Sitters Kosmologie und die Radialbewegungen der Spiralnebel. Astronomische Nachrichten 222, 5306-5308.

Wish, H., 1962. Society and thought in modern America. David McKay Company, New York.

Wright, H., 1994. Explorer of the universe. A biography of George Ellery Hale. American Institute of Physics, Woodbury, N.Y.

Wright, T., 1750. An original theory of the universe.

Young, C.T., 1898. A text book for general astronomy for College and scientific schools. Ginn & Co., Boston, New York, Chicago, London.

Young, R.K., Harper, W.E., 1916. The Solar Motion as Determined from the Radial Velocities of Spiral Nebulæ. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 10, 134.

Zinn, H., 2002. Une histoire populaire des Etats-Unis de 1492 à nos jours. Agone, Marseille.

Zwicky, F., 1957. Morphological Astronomy. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg.

RESUME en français :

L'astrophysique voit émerger au début du XXe siècle une nouvelle spécialité : l'astrophysique extragalactique. Les travaux de Vesto Slipher inaugurent le passage du concept de nébuleuses à celui de galaxie. Notre travail repose sur une analyse des archives de l'observatoire Lowell, une revue de périodiques et d'ouvrages astronomiques sur cette période et de nombreuses sources historiques et philosophiques. L'introduction résume l'état des connaissances à la fin du XIXe siècle. La première partie retrace la vie et l'œuvre de Slipher avec la découverte inattendue de leur grande vitesse radiale. Avec ces données Hubble établit la relation vitesse-distance et De Sitter teste des hypothèses cosmologiques en relation avec la théorie de la Relativité Générale. La seconde partie examine comment est né le concept de galaxies, en particulier comment Slipher passe du modèle de nébuleuse protostellaire à celui de nébuleuse extragalactique. La troisième partie s'interroge sur le contexte culturel et professionnel de l'apparition de l'astrophysique extragalactique et en particulier l'avance des Etats-Unis et les raisons du retard français.

TITRE en anglais :

Vesto Melvin Slipher (1875-1969) and the birth of extragalactic astrophysics.

RESUME en anglais :

At the beginning of the twentieth century a new domain arouses from astrophysics. Vesto Slipher's work is at the beginning of the way from the concept of nebulae to that of galaxies. Our work is based on the analysis of the Lowell Observatory archives, a review of the periodicals and books in astronomy from this perdiod, as well as numerous historical and philosophical sources. In the introduction, we summarize the knowledge at the end of the ninteenth century. The first section reports Slipher's life and work with the discovery of the high radial velocities of the nebulae. With these data, Hubble sets-up the velocity-distance relation and de Sitter tests the cosmological hypotheses drawn from the General Relativity. The second section examines the issue of the birth of the concept of galaxies, particularly how Slipher goes from the protostellar nebula's model to that of extragalactic nebula. The third section questions the cultural and professional context in which extragalactic astrophysics appears, and in particular the advance of the United-States and the causes of the French backwardness.

DISCIPLINE : Histoire et philosophie des sciences.

MOTS-CLES: Slipher, astrophysique, galaxies, histoire des sciences, modèles

MOTS-CLES en anglais : Slipher, astrophysics, galaxies, History of Sciences, models

INTITULE ET ADRESSE DU LABORATOIRE :
UNIVERSITE DE LYON
EA 4148 Laboratoire d'Etude du Phénomène Scientifique (LEPS)
Institut de Recherche en Didactique et en Histoire des Sciences et des Techniques (LIRDHIST)
Bât. La Pagode
38 Bd Niels Bohr
69622 VILLEURBANNE CEDEX