

# HISTOIRE

## A l'aube de la découverte de l'expansion de l'Univers : mesures de la vitesse radiale des galaxies par Vesto Slipher (1912-1925)

Alain Brémond, Université Claude Bernard Lyon 1, LIRDHIST.

**Résumé :** *Des mesures ont été à l'origine d'un changement de paradigme sur l'Univers. D'abord considéré comme tout entier contenu dans la Voie Lactée, l'Univers s'élargit aux univers-îles suggérés par Kant en 1755. L'astronome américain Vesto Slipher, en mesurant dès 1913 les vitesses radiales des nébuleuses spirales montre que ces objets sont probablement indépendants des autres objets célestes qui eux forment la Galaxie. Ces travaux, très vite acceptés par les astronomes seront utilisés par les premiers cosmologistes théoriciens, en particulier Willem de Sitter et Georges Lemaître à l'appui de leurs hypothèses et de leurs calculs.*

### Introduction

L'utilisation de télescopes par les astronomes leur a permis de découvrir, à côté des planètes, des comètes et des étoiles, des objets flous qu'ils nomment nébuleuses. Au XVIII<sup>e</sup> siècle, Emmanuel Kant (1724-1804) suggère qu'il pourrait s'agir d'ensembles d'étoiles, identiques à notre propre système appelé la Voie Lactée (Galaxie) et qu'après lui on appelle des « univers-îles ». Pour d'autres, comme Pierre-Simon Laplace (1749-1827), elles pourraient constituer des systèmes solaires en formation. Depuis les observations de ces nébuleuses par Lord Rosse (1800-1867) en 1844, qui utilisait un télescope de 1,80 mètres de diamètre, le Léviathan, les astronomes isolent parmi les objets nébuleux un groupe particulier appelé les nébuleuses spirales. James Keeler (1857-1900) (9) qui travaille à l'observatoire Lick aux États-Unis, les a étudiées de façon plus systématique. Il confirme les observations de Lord Rosse. Un certain nombre d'astronomes, encore peu nombreux, pensent que l'hypothèse de Kant devient de plus en plus plausible lorsqu'on observe la forme de ces nébuleuses spirales. Ils cherchent alors à accumuler

des informations sur ces objets célestes. L'astronome anglais William Huggins (1824-1910) (6;7) propose en 1873 d'appliquer la spectroscopie à l'étude des déplacements possibles de ces objets, grâce aux découvertes de Christian Doppler (1803-1853) et Hippolyte Fizeau (1819-1896). Il échoue dans sa tentative, c'est-à-dire qu'il lui est impossible de mettre en évidence un décalage des raies spectrales, dans ces objets de faible éclat. En 1885 survient un événement surprenant, l'apparition d'une étoile nouvelle, une nova, dans la Grande Nébuleuse d'Andromède. Les nébuleuses spirales contiendraient donc des étoiles ? Cette hypothèse se trouve renforcée lorsque les études montrent que leur spectre est tout à fait semblable à celui des étoiles, avec des raies sombres (raies d'absorption selon Kirchhoff (1824-1887) et Bunsen(1811-1899)) alors que d'autres plus diffuses possèdent un spectre de raies colorées (raies d'émission). Reste à franchir un saut qualitatif important qui consiste à admettre que ces systèmes stellaires sont autant d'univers-îles comme notre système stellaire, la Galaxie. C'est dans le premier quart du XX<sup>e</sup> siècle que la question sera tranchée et les travaux de Vesto Slipher (1875-

1969) apparaissent comme un apport majeur dans la discussion à laquelle participeront immédiatement de nombreux astronomes.

Cette étude vise à remplir trois objectifs. Retracer de manière critique l'histoire des mesures des vitesses radiales des nébuleuses spirales représente la première étape indispensable. Puis nous étudierons les conséquences qu'ont tiré de ces observations Vesto Slipher et les autres astronomes intéressés par cette question. Enfin nous analyserons la place de ces observations dans le cadre du concept de révolution scientifique de Thomas Kuhn (1922-1996) et en particulier la remise en cause du paradigme dominant sur la structure de l'Univers, ainsi que les relations qu'ont pu avoir ces travaux avec le développement de la cosmologie théorique selon Albert Einstein (1879-1955), Willem de Sitter (1872-1934) et Georges Lemaître (1894-1966).



Copyright : Flagstaff Observatory

*Le jeune astronome Vesto Slipher en 1905, peu de temps après son arrivée à l'Observatoire de Flagstaff.*

## Etude historique

### Des nébuleuses spirales se déplacent à grande vitesse

Quand Vesto Slipher rejoint, en 1901, l'observatoire construit par Percival Lowell (1894-1916) à Flagstaff en Arizona, il s'aperçoit très vite que le matériel dont il dispose devrait lui permettre de mesurer les déplacements des nébuleuses suggérés par Huggins. Ses travaux sur les mouvements des planètes et des étoiles le confortent dans cet espoir. Ce n'est cependant qu'en 1912 qu'il pourra réaliser la première mesure. En effet, les difficultés sont nombreuses. Bien qu'il choisisse la plus grande des nébuleuses spirales, celle de la constellation d'Andromède, la faiblesse de son éclat et son

caractère diffus rendent l'étude spectrale difficile. La mesure de la vitesse radiale impose de comparer la longueur d'onde d'une même raie spectrale située dans la nébuleuse et dans un spectre de référence. Pour obtenir une bonne résolution spectrale il faut disperser le spectre et obtenir ainsi des raies bien séparées les unes des autres. Malheureusement, cette dispersion rend plus pâle chacune des raies et la plaque photographique risque de ne pas être suffisamment impressionnée. Slipher dispose d'un télescope de 24 pouces et d'un appareil photographique à courte focale mais il lui manque une fente assez large pour laisser passer assez de lumière et un prisme suffisamment dispersif. Ce matériel arrive à Flagstaff au cours de l'été 1912. Les spectres de comparaison sont ceux du fer et du vanadium. La plaque photographique est une Seed 30, une des plus rapides de l'époque. Les spectres sont analysés avec un stéréocomparateur de Hartmann sous un grossissement de 15 fois. Le 17 septembre, la première vitesse radiale est obtenue après une pause de 6 heures 50 minutes. Slipher réalise trois autres mesures jusque dans la nuit du 31 décembre. Il doit arrêter là ce travail car le télescope est alors utilisé pour d'autres observations. Il ne peut donc établir la précision de ses mesures mais il estime que la faible dispersion de ses quatre évaluations atteste de leur validité. Il ne peut non plus réaliser son projet qui consistait à utiliser un spectrographe plus dispersif, et donc plus précis, formé de trois prismes en verre de flint.

Sa découverte est étonnante : la nébuleuse d'Andromède se rapproche du système solaire à la vitesse moyenne de 300 km/s. Aucune autre hypothèse qu'un déplacement ne peut expliquer le décalage spectral observé. Dès lors Vesto Slipher consacre une grande partie de son temps à ce type d'étude afin de vérifier si toutes les nébuleuses spirales ont des déplacements aussi rapides.

### Les sens de déplacement et les vitesses ne sont pas identiques

Il lui faut aussi vérifier si, parmi les nébuleuses, seules les spirales sont animées d'une vitesse aussi grande. En effet, les vitesses radiales des étoiles sont environ 25 fois plus faibles que celle de la nébuleuse d'Andromède. Son programme de travail consiste donc à mesurer des vitesses radiales d'autres spirales mais aussi de nébuleuses gazeuses et d'amas globulaires. Pour cela le matériel reste le même car Slipher s'est aperçu qu'il convenait particulièrement bien à ce travail. En deux ans, ce sont environ quarante nébuleuses et amas stellaires qui sont étudiés(20). Parmi eux quinze sont des

nébuleuses spirales. Plusieurs constatations découlent de ces mesures. D'abord si deux nébuleuses se rapprochent du Soleil (vitesse négative), toutes les autres s'en éloignent (vitesse positive). Les vitesses sont toutes élevées, allant de 200 à 1 100 km/s. Les deux qui se rapprochent du système solaire sont situées au sud de la Voie Lactée. Vesto Slipher pense d'ailleurs qu'avec un plus grand nombre d'observations il en trouvera encore plus avec une vitesse négative dans la partie sud de l'hémisphère. Son hypothèse est en effet qu'il existe un déplacement dans une direction donnée (*drift hypothesis*). Les trois spirales les plus rapides sont vues par la tranche ; c'est, selon Slipher, que les spirales se déplacent dans ce plan et le vecteur vitesse est donc largement situé dans l'axe de vision. Au contraire, lorsque les nébuleuses spirales sont plus inclinées, nous ne mesurons qu'une composante de cette vitesse qui est ainsi plus faible. En fait cette impression n'est pas confirmée par la répétition des observations.

### Vérifications et controverses

D'autres astronomes s'emploient à reproduire les mesures de Slipher et lui communiquent leurs résultats. Wolf (1827-1918) à Heidelberg, Wright (1871-1959) à l'observatoire Lick produisent des mesures très voisines des siennes pour la nébuleuse d'Andromède. Pease (1881-1938) au Mont Wilson (14) mesure N.G.C.<sup>1</sup> 4594 et trouve une valeur de +1180 km/s, proche des +1100 trouvés par Slipher. Moore (1878-1949) à Lick étudie la nébuleuse Messier<sup>2</sup> 77 (N.G.C. 1068). Les mesures sont ici discordantes : 1 100 km/s pour Slipher, 765 pour Pease(13) et 910 pour Moore, mais cette spirale possède un éclat plus faible.

La critique la plus virulente vient de Reynolds (15), un spécialiste des vitesses radiales des étoiles. Tout en commençant sa lettre à propos de mesures faites dans son propre observatoire, au Mont Wilson, il s'attaque en réalité directement à Vesto Slipher. Il doute de la possibilité d'obtenir, pour les nébuleuses, des mesures fiables, et considère que les mesures de vitesses des nébuleuses « *n'ont pas le même poids que celle des étoiles, beaucoup plus brillantes* ». Selon lui le spectrographe utilisé par Slipher ne serait pas assez dispersif comparé à celui du Mont Wilson dont l'échelle linéaire est de 4,3 mm entre les longueurs d'onde 3930Å et 4950Å. Et même dans ce cas, Reynolds fait remarquer qu'un

déplacement de 0,1 mm correspond à une vitesse de 90 km/s. Comme il faut, selon lui, 80 heures de pause pour obtenir le spectre, des changements de température et de pression atmosphérique sont suffisants pour entraîner des variations de cette amplitude. Par ailleurs, au Mont Wilson, le spectre de référence est obtenu en une seule fois au cours d'une pause de une seconde et ceci est suffisant, dit-il, pour entraîner une grande erreur. Il illustre ensuite sa critique par les variations de mesure de la vitesse radiale de la grande nébuleuse d'Andromède : -300 km/s pour Slipher et -450 pour Wolf, tout en reconnaissant qu'elles sont proches pour N.G.C. 4594. Reynolds termine sa note en déclarant que pour l'instant, on ne peut pas considérer les vitesses des nébuleuses comme définitivement acquises. Slipher répond (17) point par point dans une lettre à l'éditeur où il fait remarquer que la grande vitesse des nébuleuses comparée à celle des étoiles suppose des décalages spectraux plus grands. Ainsi, la plus faible résolution spectrale est compensée par un décalage plus important. Slipher précise en outre que son matériel est systématiquement testé sur des objets de vitesse connue. Enfin, les spectres de référence sont obtenus et superposés aux spectres de chaque nébuleuse tout au long de la longue exposition et pas seulement, comme au Mont Wilson, en fin d'exposition. La variabilité inter-observateurs est, pour lui, la même que pour les étoiles soit environ 20%. En effet, rétorque-t-il, la concordance des quatre observations des vitesses de la nébuleuse d'Andromède est aussi bonne que celle donnée pour l'étoile Canopus dans le catalogue des vitesses stellaires de Campbell (1862-1938), 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* ».

La même année, il présente une nouvelle étude dédiée à la nébuleuse N.G.C. 1068 (M77)(18) où il reprend tous les problèmes soulevés par Reynolds à propos de la précision des mesures et discute les discordances observées avec celles de Pease et de Moore. Il a maintenant réalisé six mesures dont trois avec un spectrographe formé de deux prismes et une fente plus étroite. La dispersion du spectre est plus grande et les raies plus fines. Les mesures répondent ainsi à certains des critères de Reynolds. La moyenne des vitesses est de 1 120 km/s avec des extrêmes compris entre 1 060 et 1145 km/s. Le problème des discordances ne lui paraît pas de nature à mettre en doute sa découverte fondamentale, la très grande vitesse radiale de ces

<sup>1</sup> N.G.C. New General Catalog de Dreyer. Il remplace le General Catalog des Herschel.

<sup>2</sup> Charles Messier a publié au XVIII<sup>e</sup> siècle un catalogue d'objets nébuleux encore utilisé de nos jours.

nébuleuses par rapport à celles des étoiles. Dans cette optique Slipher rappelle encore la concordance des données pour les vitesses de la nébuleuse d'Andromède et plus récemment pour celles de N.G.C. 4594. Campbell et Paddock (1919-1955) (2) utilisant les clichés de Heber D. Curtis (1872-1942), réalisés à Lick, mesurent la vitesse d'une autre spirale N.G.C. 4151 et trouvent qu'elle s'éloigne à 940 km/s avec une erreur estimée à 30 à 40 km/s.

Au cours de cette même année, le 13 avril 1917, Slipher est invité à donner une conférence sur les nébuleuses(16). Il rappelle la difficulté à obtenir un spectre pour ces nébuleuses en signalant que Pease avec le grand télescope du Mont Wilson a dû poser 80 heures pour obtenir le spectre de N.G.C. 4594 et que la question de la précision n'est pas résolue par une grande ouverture. Il obtient en effet de bons spectres avec un modeste télescope de 24 pouces et des expositions de « seulement » 20 à 40 heures réparties sur plusieurs nuits.

En 1917, la controverse sur la précision des mesures semble close et les astronomes admettent les résultats de Vesto Slipher. Ainsi la mesure des vitesses radiales prend-elle place comme un paramètre valide, à côté de leurs aspects morphologiques et de leur type spectral.

En 1921 Slipher mesure la vitesse radiale d'une nébuleuse très faible, n° 584 du catalogue de Dreyer, dans la constellation de la Baleine. Cette découverte est signalée et paraît dans le Bulletin de l'observatoire de Harvard, sous la plume de Solon Bailey (1854-1931) : « *Le télégramme suivant a été reçu du Dr V.M. Slipher, de l'Observatoire Lowell, Flagstaff, Arizona : - les observations spectroscopiques de l'Observatoire Lowell montrent que la nébuleuse de Dreyer, numéro 584, dans la constellation de la Baleine possède la plus grande vitesse radiale connue, presque 2 000 km/s en récession* ». La vitesse, confirmée est effectivement extrêmement grande 1 100 miles/s soit 1 770 km/s. Compte tenu des hypothèses de l'époque sur l'âge de la Terre évalué par les géologues et de l'idée qu'à un moment, le système solaire et toutes les nébuleuses étaient réunis, cette nébuleuse doit être éloignée de plusieurs millions d'années lumière. Ceci est à l'époque suffisamment incroyable pour que le fait soit rapporté dans le New York Times (19 janvier 1921 p.6).

Une dernière publication en 1922 vient ajouter de nouvelles mesures portant sur des nébuleuses spirales moins brillantes. Les mesures confirment toutes les données antérieures avec de grandes vitesses radiales. Mais alors que Slipher pensait auparavant qu'en multipliant les observations ils trouveraient un nombre plus grand de nébuleuses

avec des vitesses négatives (s'approchant de nous), ses nouvelles observations démentent cette hypothèse sans que Slipher ne fasse aucun commentaire à ce sujet. De même, il ne commente pas une éventuelle relation entre la magnitude des spirales et leur vitesse radiale. Ce que fait Edwin Hubble à la même époque qui interprète la magnitude plus ou moins faible comme un critère de plus ou moins grand éloignement...

### **Quelles conséquences tirent Vesto Slipher et ses collègues de ces observations ?**

Dans son premier article (19) il croit tenir une explication pour la nova observée en 1885 dans la nébuleuse d'Andromède. 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<sup>3</sup> et ce contact aurait « allumé » l'étoile jusqu'ici non visible. Cette hypothèse montre que pour Slipher, en 1913, les nébuleuses spirales sont des objets non stellaires ; d'ailleurs les télescopes ne permettent pas encore de les résoudre en étoiles.

Slipher se pose une question fondamentale : quelle est la part du mouvement du système solaire dans ce déplacement ? Cette question avait été soulevée en 1916 par Paddock(12) qui travaille avec Campbell sur le déplacement du système solaire par rapport à l'ensemble des étoiles. En effet, il s'agit bien d'une vitesse relative entre deux objets qui sont tous deux en mouvement. Slipher connaît les travaux de Campbell qui a montré que le système solaire se déplace par rapport à des étoiles de référence situées de part et d'autre du Soleil. On observe un déplacement du Soleil par rapport aux étoiles dans une direction précise, appelée l'Apex qui se situe dans la constellation d'Hercule. Qu'en est-il du déplacement de ce même système par rapport aux nébuleuses, sachant que certaines ont une vitesse négative<sup>4</sup> et d'autres, plus nombreuses une vitesse positive ? En comparant les mouvements du système solaire par rapport aux étoiles et également par rapport aux spirales, Slipher en déduit que le système solaire se déplace en même temps que les étoiles et forme donc un ensemble lié. Ainsi toutes les étoiles sont elles associées dans un même ensemble : la Galaxie. Cette importante question est également abordée par Young et al. en 1916 (23). Dans l'introduction de leur article, ils considèrent

<sup>3</sup> Les étoiles noires seraient des étoiles de la taille du Soleil mais obscures (Agnes M. Clerke)(3).

<sup>4</sup> La vitesse est comptée négativement lorsque la nébuleuse se rapproche du système solaire et positivement dans le cas contraire.

que si l'hypothèse des univers-îles s'avérait exacte alors notre système, peut être une spirale, se déplacerait dans l'espace à des vitesses du même ordre que les nébuleuses spirales.

Les mesures relatives de vitesse du système solaire par rapport aux étoiles d'une part et par rapport aux spirales d'autre part, semblent donc pour Slipher un argument assez fort en faveur de la théorie des univers-îles : « *notre système stellaire dans sa totalité se déplace et nous entraîne avec lui.* ». Il suggère que les nébuleuses spirales pourraient s'éloigner les unes des autres, mais l'observation d'amas de spirales contredit, pour lui, cette hypothèse. D'autres travaux, en particulier ceux de Edwin Hubble, vont aller dans son sens. Reprenant l'hypothèse nébulaire de Laplace (1749-1827) il déclare : « *il semble que notre système solaire a évolué à partir d'une nébuleuse* », mais remarque cependant que les nébuleuses dont il était question n'étaient probablement pas des nébuleuses spirales.

Les mesures de Slipher viennent donc prendre place, à côté des aspects morphologiques des spirales, comme élément en faveur des « univers-îles ».

Par ailleurs, l'étude des raies spectrales montre à Slipher qu'elles sont inclinées, comme elles le sont dans le corps de Jupiter et dans les anneaux de Saturne. Les nébuleuses sont donc en rotation. Leur inclinaison de 5° correspond à une vitesse de rotation d'environ 300 km/s à 1' d'angle du centre de la nébuleuse. Cette valeur, déclare Slipher, doit être confirmée. Cette rotation se fait dans le sens de l'enroulement des bras (*like a winding spring*). Cette question fera l'objet de nombreux travaux et d'une violente controverse.

### **Rôle des travaux de Slipher sur les théories de l'expansion; Einstein, de Sitter, Eddington et Lemaître 1927**

Cet épisode de l'histoire de l'astronomie occupe une place centrale dans la question de l'expansion de l'Univers. En 1915, Einstein, à partir de la théorie de la relativité générale s'est aperçu que l'Univers devait être en expansion. On sait que pour des raisons philosophiques il a rajouté à son modèle mathématique une constante dite cosmologique qui rendait l'Univers statique. Willem de Sitter, reprenant les équations d'Einstein prédit en 1917 (4) que les ondes lumineuses doivent être étirées dans un modèle d'Univers en expansion, produisant un décalage, vers le rouge des longueurs d'ondes, d'autant plus important que les objets sont plus distants. Ces travaux n'étaient probablement pas

connus de Vesto Slipher qui n'y fait jamais allusion dans ses articles. Slipher parle de mouvements de déplacement des nébuleuses par rapport au système solaire, mais il le fait dans le cadre de la mécanique céleste classique, comme le fera aussi Hubble. La correspondance de Vesto Slipher conservée à l'observatoire Lowell montre que les relations épistolaires avec ces théoriciens sont tardives : 1921 avec Eddington, mais 1925 pour Lemaître, 1928 pour de Sitter et 1931 avec Einstein. Aucune correspondance entre Slipher et Lemaître n'a été retrouvée dans les archives de Lemaître<sup>5</sup>.

Par contre de Sitter connaissait les travaux de Slipher sur les vitesses radiales des spirales dès 1917 (4). Il ne cite pas nommément Slipher mais écrit : « *Les nébuleuses spirales sont probablement les objets les plus distants que nous connaissons. Récemment un certain nombre de vitesses de ces nébuleuses ont été déterminées. Les observations sont encore incertaines...* » Néanmoins Slipher les utilise comme argument en faveur de la théorie de la gravitation revue par Einstein et lui-même. De Sitter élabore une théorie personnelle de l'Univers qui s'oppose à celle de Einstein. Elle prévoit que les objets lointains doivent avoir des vitesses radiales très élevées (Univers en expansion). Les mesures de Slipher et de ses collègues, décrites plus haut, viennent conforter cette hypothèse basée sur la théorie de la Relativité et infirmer celle d'Einstein. Mais pour cela il faudrait, dit-il, que la majorité des spectres des nébuleuses montrent un décalage vers le rouge ce que les observations ultérieures confirmeront très vite avec la progression des travaux de Vesto Slipher.

En 1931, Arthur Eddington (1882-1944) cite la récession des nébuleuses spirales, découverte par Slipher, en introduction de son article sur la récession des nébuleuses extragalactiques (5) : « *Un mouvement systématique de récession des nébuleuses spirales a été trouvé par V.M. Slipher dans sa détermination des vitesses radiales.* ». Mais le concept d'expansion a été en réalité démontré par l'abbé Georges Lemaître, un temps élève de Eddington, dans un article de 1927 (11) resté peu connu, sauf par Eddington qui le traduira et fera connaître les idées de Lemaître. Ce dernier fait référence à Vesto Slipher dans un article postérieur de 1931 mais pas dans celui de 1927. Cependant il cite à propos des vitesses radiales un article de

---

<sup>5</sup> Nous remercions l'équipe des Archives Lemaître, Université Catholique de Louvain, Institut d'Astronomie et géophysique G. Lemaître. Louvain-la-Neuve. Belgique.

Strömberg (21;22) qui, lui, fait largement référence aux travaux de Slipher à qui il a d'ailleurs demandé l'autorisation d'utiliser ses données. Par ailleurs, il est probable que Lemaître a eu connaissance des travaux de Slipher dès 1925, lors de son séjour au Massachusetts Institute of Technology où il avait accès à toutes les publications américaines.



Copyright : Flagstaff Observatory

En 1947, Vesto Slipher l'astronome confirmé.

Les travaux de Vesto Slipher ont donc été reçus favorablement et très rapidement par les physiciens cosmologistes, en particulier de Sitter et Lemaître qui ont compris que ces vitesses radiales élevées apportaient des éléments en faveur d'une hypothèse qu'ils privilégiaient, celle d'un univers en expansion et cela, avant même les travaux déterminants de Edwin Hubble (1925).

### **Contestation du paradigme d'univers**

Dans le cadre de la théorie des révolutions scientifiques de Thomas Kuhn (10) la découverte de Slipher apparaît comme une observation qui questionne la science normale en cours sur l'Univers. Ce paradigme, issu des travaux de William Herschel (1738-1822) et accepté par les plus grands astronomes comme Arago (1786-1853) en France, considère l'Univers comme l'ensemble de tous les objets visibles à l'œil nu et au télescope (1). Tous les objets, du système solaire aux nébuleuses en passant par les étoiles forment un ensemble unique. On n'en mesure pas la limite réelle et d'ailleurs, William Herschel imagine qu'avec des télescopes plus puissants la limite de

l'Univers visible sera repoussée. A l'époque de Vesto Slipher, toutes les observations scientifiques sont en faveur de ce modèle d'Univers que ce soit celles des étoiles, des nébuleuses gazeuses ou des amas stellaires. Seule l'observation des nébuleuses spirales met en question ce paradigme. Pour Kuhn, la découverte de nouveaux faits précède « *les inventions ou nouveautés de la théorie* ». C'est bien ce que fait Slipher en cherchant des paramètres qui caractérisent les nébuleuses spirales par rapport aux autres objets astronomiques. Leur forme spirale, leur spectre de type stellaire, l'apparition d'une nova au sein de la nébuleuse d'Andromède et les grandes vitesses radiales sont autant d'anomalies susceptibles de créer une crise au sein du paradigme. Mais c'est la comparaison des déplacements du système solaire par rapport au système stellaire puis de ce système dans son ensemble par rapport aux nébuleuses spirales qui semble porter le coup le plus dur au concept d'univers limité à la Voie Lactée (ou Galaxie). C'est en effet un argument fort en faveur d'un déplacement relatif des nébuleuses et du système stellaire et donc d'une identité propre pour les nébuleuses spirales. Pourquoi pas des univers-îles ? Cependant les défenseurs de la science normale résistent, en particulier en soutenant que les mesures sont entachées d'erreurs, trop imprécises. Harlow Shapley (1885-1972), qui s'intéresse à la dimension de la Voie Lactée, oppose d'autres mesures à celles de Slipher. Le diamètre de la Galaxie qu'il établit semble si grand (300 000 années de lumière) qu'il paraît impossible que les nébuleuses spirales n'y soient pas totalement contenues. Il faudra attendre les mesures par Edwin Hubble portant sur la distance de la nébuleuse d'Andromède pour vaincre les dernières résistances du paradigme ancien. Sur le plan théorique, De Sitter qui utilise les mesures de Vesto Slipher et la Relativité Générale construit une nouvelle théorie et « invente » un nouvel univers que les travaux de Lemaître et de Friedmann viendront conforter.

Il ne restera plus à Hubble qu'à associer vers 1930 ces mesures de distances des spirales avec leur vitesse radiale pour confirmer, par des données d'observation, les calculs théoriques de Einstein, de Sitter et Friedmann.

Ce sont donc bien des mesures qui, dans ce domaine, sont à l'origine du profond changement conceptuel de notre Univers. Ces mesures sont rendues possibles par le développement d'un nouvel outil : la spectroscopie et le développement de nouveaux télescopes. Nulle expérience ne peut en effet s'appliquer à l'Univers et ce sont donc les observations qui produisent les données. Or la précision des données dépend en astronomie des

moyens d'observations. Suffisants pour les planètes et les étoiles, les télescopes et les spectrographes ont dû s'améliorer pour que ces données soient acceptées par la communauté des astronomes. Cependant ce qui frappe dans l'épisode des vitesses radiales des spirales c'est qu'un groupe d'astronomes était prêt à accepter puis à tirer des conclusions de données tellement imprécises que jamais les astrométristes ne les auraient acceptées. C'est donc que les esprits étaient préparés à remettre en cause le paradigme en cours et qu'une hypothèse était prête à succéder à celle de l'Univers limité à la Galaxie, celle des Univers-îles développée par Kant (8) en 1755.

## Conclusions

Vesto Slipher apporte une connaissance nouvelle fondamentale : les nébuleuses spirales ont des vitesses radiales très élevées. La plupart d'entre elles s'éloignent de nous et cela serait en faveur d'une dispersion de ces objets dans l'Univers, bien que la tendance des spirales à se grouper en amas semble contredire cette hypothèse. L'existence de spirales qui se rapprochent de nous est interprétée comme un déplacement possible de notre propre Galaxie par rapport aux spirales. Enfin, notre système solaire se déplace en masse dans une direction bien déterminée dans la Galaxie qui, elle-même se déplacerait dans une direction précise par rapport aux nébuleuses spirales. Les spirales sont en rotation et ce point sera à l'origine de travaux ultérieurs et de controverse.

Sur le plan de la mesure, la controverse est due à la précision atteinte par les astronomes classiques spécialistes de la mécanique céleste, précision à laquelle n'arrivent pas les « nouveaux » astrophysiciens avec la spectrographie. Ceux-ci se défendent en comparant la précision de leurs mesures sur les nébuleuses avec celle portant sur les vitesses radiales des étoiles qu'ils jugent équivalente. Ils considèrent également que l'échelle 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.

La découverte de Slipher et ses conséquences prennent bien leurs places dans le concept de « révolution scientifique » de Thomas Kuhn. Elle fait en effet partie des observations qui viennent mettre en défaut certaines conséquences du paradigme représenté par un univers tout entier contenu dans la Voie Lactée. D'autres attaques viendront et après 1925 un nouveau paradigme verra

le jour. Parallèlement les cosmologistes utilisent les découvertes de Slipher à l'appui de leurs théories de l'expansion de l'Univers.

## Références

1. Arago F: Leçons d'astronomie. Paris Just Rouvier et E. Bouvier, 1836
2. Campbell WW and Paddock GF: The Spectrum and Radial Velocity of the Spiral Nebula N. G. C. 4151. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 1918, 30: 68
3. Clerke AM: Problems in astrophysics. London 1903
4. de Sitter W: On Einstein's theory of gravitation and its astronomical consequences. Third paper. Mon Not Roy Astron Soc 1917, 78: 3-28
5. Eddington A.S.: The recession of the extra-galactic nebulae. Mon Not Roy Astron Soc 1931, 92: 3-7
6. Huggins W: On the Proper Motions of the Nebulae. Astronomical register 1873, 11: 269-271
7. Huggins W: Further observations on the spectra of some of the stars and nebulae, with attempts to determine therefore whether these bodies are moving toward or from Earth, also observations on the spectra of the sun and of comet II. Phil Trans R Soc 1868, 158: 529-564
8. Kant E: Histoire générale de la Nature et théorie du ciel. Paris Vrin, 1984
9. Keeler JE: Photographs of nebulae and clusters made with the Crossley reflector. Publications of Lick Observatory 1908, 8: 1
10. Kuhn T: La structure des révolutions scientifiques. Paris Flammarion, 1983
11. Lemaître G: Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques. Ann Soc Scient de Bruxelles 1927, 47: 49-59
12. Paddock GF: The relation of the system of stars to the spiral nebulae. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 1916, 38: 109-115
13. Pease FG: The Radial Velocity of the Nebula N. G. C. 1068. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 1915, 27: 133-134
14. Pease FG: The rotation and radial velocity of the spiral nebula N. G. C. 4594. Popular Astronomy 1917, 25: 26-27
15. Reynolds JH: Motion in the spiral nebulae M 101 and NGC 4594. The Observatory 1917, 40: 131-132
16. Slipher VM: Nebulae. Proceedings of the American Philosophical Society 1917, 56: 403-409
17. Slipher VM: Radial velocity observations of spiral nebulae 1995. The Observatory 1917, 40: 304-306
18. Slipher VM: The spectrum and velocity of the nebula N.G.C. 1068 ( M 77). Lowell Observatory Bulletin 1917, 3: 59-63
19. Slipher VM: The radial velocity of the Andromeda Nebula. Lowell Observatory Bulletin 1913, 2: 56-57
20. Slipher VM: Spectrographic Observations of Nebulae. Popular Astronomy 1915, 23: 21-24
21. Strömberg and G.: Analysis of radial velocities of globular clusters and non-galactic nebulae. Astrophysical Journal 1925, 61: 353-362
22. Stromberg G: No. 292. Analysis of radial velocities of globular clusters and non-galactic nebulae. Contributions from the Mount Wilson Observatory / Carnegie Institution of Washington 1925, 292: 1-10
23. Young RK and Harper WE: The Solar Motion as Determined from the Radial Velocities of Spiral Nebulae. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada 1916, 10: 134