PONTIFICIA
ACADEMIA
SCIENTIARVM

ACTA
Vol. XIV - N. 8
pag. 71-86

LE MOUVEMENT DE RÉCESSION DES NÉBULEUSES EXTRA-GALACTIQUES (*)

2e Partie (1)

P. DRUMAUX

Svmmarivm. — Determinatio velocitatum transversalium et orbitarum nebularum ope observationum astronomicarum redderetur facilior utendo nebulis in eadem directione sitis. Per istum procedendi modum insuper notae fierent differentiae inter magnitudines absolutas. At in metiendo magnae difficultates superandae essent ob summam praecisionem, quam exigit parvitas effecti Doplerii transversalis.

Nous résumerons d'abord brièvement notre précédent travail sur la récession des nébuleuses. Pour éclairer le sujet, préalablement à son examen mathématique, nous commencerons par donner un aperçu de la question.

A cette fin disons avant tout que les nébuleuses sont comme toutes les masses cosmiques soumises à la gravitation. Dans le cas des nébuleuses on a affaire au problème d'un très grand nombre de corps et l'ensemble des masses en jeu, comprenant non seulement les nébuleuses accessibles au télescope mais en outre les masses dont on peut dès-à-présent affirmer l'existence au delà de la région cosmique explorée,

(*) Nota presentata dall'Accademico Pontificio Soprannumerario Rev.mo P. Johan Stein S. I. il 20 aprile 1950.

(1) Pour la Ière partie voir « Commentationes », Vol. XI, N. 12, pag. 721-750

représente une énorme quantité de matière. Or d'après la loi de gravitation les différences de potentiel gravifique sont proportionnelles aux masses qui les engendrent. L'espace cosmique est donc le siège de très grandes différences de potentiel, lesquelles sont capables de produire des vitesses élevées et l'on doit s'attendre à ce que celles-ci soient comparables à la vitesse de la lumière, ce qui implique l'intervention des effets de relativité.

Le problème se pose dès lors de déterminer non seulement ces vitesses mais aussi les trajectoires des nébuleuses. Si on cherche à le résoudre par une solution mathématique parfaitement rigoureuse on peut dire que le problème est insoluble, mais il peut au contraire être résolu si l'on procède par approximations successives en se limitant à la recherche des trajectoires osculatrices. On trouve alors en première approximation une loi linéaire pour les vitesses en recourant à des potentiels gravifiques osculateurs ayant un contact du 3° ordre avec les potentiels réels. Pour les trajectoires on trouve, également en première approximation, soit des spirales gauches elliptiques soit des courbes exponentielles apériodiques.

Au point de vue mathématique le calcul se fait en partant des équations générales tensorielles de la gravitation où les potentiels gravifiques $g_{\mu\nu}$ sont remplacés par les potentiels osculateurs susdits. On obtient ainsi la loi des vitesses dont l'intégration livre les équations des trajectoires. Bien que la considération des potentiels osculateurs ait nécessité l'introduction d'un grand nombre de constantes laissées indéterminées pour ne pas préjuger de la configuration du champ gravifique, il ne reste néanmoins à la fin du calcul que 9 paramètres inconnus dont dépendront tous les mouvements des nébuleuses.

Si l'on pousse l'approximation plus loin en considérant des potentiels osculateurs du 4° ordre, la loi des vitesses devient quadratique par l'adjonction de termes de correction et les trajectoires sont alors plus compliquées, mais dans le présent état de la science cette seconde approximation n'offre pas d'intérêt immédiat parce qu'elle couvre des domaines cosmiques actuellement inaccessibles. La première approximation implique d'ailleurs déjà de très grandes difficultés au point de vue de la haute précision qui serait requise dans les observations astronomiques pour pouvoir déterminer les 9 paramètres dont question ci-dessus.

Il doit être entendu que notre étude ne porte nullement sur la structure de tout l'Univers mais se limite au domaine cosmique qui nous entoure, c'est-à-dire que nous nous bornons à envisager la région extra-galactique en la considérant à une échelle qui n'est que d'un rang supérieur à celle envisagée jusqu'à présent en Astronomie. Cela signifie évidemment un saut important mais néanmoins limité dans l'échelle des grandeurs, tout comme par exemple le saut correspondant au passage de l'ordre de grandeur du système solaire à celui de la voie lactée.

Considérée à cette nouvelle échelle, la région extra-galactique qui nous environne se révèle ne pas être conforme à ce que l'on s'était imaginé. C'est uniquement la gravitation qui régit le cours des nébuleuses, avec cette particularité que les effets de relativité causés par les grandes vitesses interviennent puissamment. Du fait qu'à l'échelle en question on a affaire à des masses énormes la gravitation engendre des effets dynamiques en proportion des masses. C'est ainsi que le calcul montre que la voie lactée doit se mouvoir à une vitesse de l'ordre de 100000 km/sec. ce qui paraît bien paradoxal mais n'est en réalité pas surprenant si l'on se place à l'échelle voulue pour les masses en jeu. Il faut en effet bien se dire que si dans un système physique on pousse à l'extrême l'un des facteurs en jeu, on aboutit nécessairement à des effets nouveaux insoupçonnés. Les exemples en sont nombreux en Physique, notamment les courants et radiations à très haute fréquence. Dans notre problème c'est le facteur masse qui est poussé à l'extrême et qui engendre dès lors des vitesses très grandes pour toute les nébuleuses extra-galactiques y compris la voie lactée, mais comme nous sommes emportés avec celle-ci nous n'observons que les vitesses relatives des nébuleuses par rapport à la galaxie et nous ne percevons d'ailleurs que la composante radiale de ces vitesses relatives parce que l'effet Doppler transversal est du 2^d^ ordre par rapport à l'effet longitudinal.

* * *

Ayant ainsi donné un bref aperçu de la question résumons maintenant les calculs exposés dans notre précédent travail.

En partant des équations de la gravitation d'Einstein on obtient la loi linéaire suivante pour la vitesse des nébuleuses:

En adoptant des axes coordonnés trirectangulaires à leur origine O située en permanence sur la voie lactée et en désignant par x_1, x_2 et x_3 les coordonnées d'une nébuleuse N, on obtient pour les composantes v_1, v_2 et v_3 de la vitesse les relations:

$$\begin{aligned} v_1 &= a_{11}\, x_1 + a_{12}\, x_2 + a_{13}\, x_3 \\ v_2 &= a_{21}\, x_1 + a_{22}\, x_2 + a_{23}\, x_3 \\ v_3 &= a_{31}\, x_1 + a_{32}\, x_2 + a_{33}\, x_3 \end{aligned} \qquad [1]$$

où les constantes $a_{\mu\nu}$ représentent les 9 paramètres mentionnés plus haut.

On en déduit aisément que la vitesse radiale v_r est proportionnelle à la distance r, conformément à la loi de Hubble.

Il suffit d'exprimer les coordonnées en fonction de la distance et des cosinus directeurs correspondant à la direction de la nébuleuse N.

On lit aussi sur les équations [1] que l'amplitude v de la vitesse est également proportionelle à la distance, le coefficent de proportionnalité K dépendant de la direction envisagée.

On voit en outre que l'angle φ que le vecteur de la vitesse fait avec le rayon vecteur ON de la nébuleuse est le même pour toutes les nébuleuses situées dans une même direction.

Si d'autre part on considère toutes les nébuleuses situées à une même distance r de la voie lactée et si à partir d'un point fixe on méne un vecteur égal et parallèle à la vitesse $\bar{v}$ de chaque nébuleuse, on obtient un ellipsoïde.

Si enfin on intègre les équations [1] on obtient les équations des trajectoires dont nous avons plus haut rappelé la forme.

Ces divers résultats dépendront des valeurs numériques des 9 paramètres $a_{\mu\nu}$ qui régissent tous les mouvements des nébuleuses.

Le problème se pose dès lors de déterminer ces paramètres par des observations astronomiques.

La voie proposeé à cette fin est la suivante:

On peut déduire des équations [1] que si l'on mesure des effets Doppler de deux nébuleuses situées approximativement dans la même direction ainsi que le rapport des distances de ces deux nébuleuses, il est possible de déterminer les composantes radiale et transversale de la vitesse.

Dans un précédent travail [1] nous avons montré que si l'on répète ces mesures sur six paires de nébuleuses, chaque paire correspondant à une direction différente, on peut atteindre les paramètres $a_{\mu\nu}$ et par conséquent déterminer les trajectoires.

Le calcul des erreurs auxquelles il faut s'attendre dans ces déterminations montre qu'une haute précision est indispensable dans les mesures des effets Doppler et des distances. Il en résulte que de grandes difficultés sont à surmonter pour ces mesures, particulièrement en ce qui concerne les distances dont la détermination comporte actuellement de l'incertitude.

Nous nous proposons dans la présente étude de rechercher la voie à suivre pour surmonter ces difficultés.

* * *

Le principal obstacle réside dans l'imprécision des magnitudes absolues. Examinons dès lors comment il pourrait être surmonté.

A cette fin considérons deux nébuleuses N_1 et N_2 situées approximativement dans la même direction et envisageons le rapport r_1/r_2 de leurs distances à la voie lactée. En vertu de la relation

$$\log r = 0,2\,(m - \mathrm{M}) + 1 \tag{2}$$

où m est la magnitude apparente, M la magnitude absolue et r la distance en parsecs, on aura :

$$\log \frac{r_1}{r_2} = 0,2\,[(m_1 - m_2) - (\mathrm{M}_1 - \mathrm{M}_2)] \tag{3}$$

ce qui montre que la mesure de r_1/r_2 n'exige pas la connaissance des magnitudes absolues elles-mêmes mais simplement celle de leur différence.

Considérons ensuite l'effet Doppler dû à la récession. D'après la relativité il est donné par la relation :

$$\frac{\lambda^1}{\lambda} = \frac{1 + \dfrac{v \cos \varphi}{c}}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} \tag{4}$$

(1) *La récession des nébuleuses extra-galactiques* (3e partie). « Annales de la Soc. scientifique de Bruxelles », série I, tome LXII, 1948, p. 83.

où λ est la longueur d'onde lorsque la source est au repos par rapport à l'observateur et λ' la longueur d'onde lorsqu'elle est animée d'une vitesse v faisant un angle φ avec la direction dans laquelle se trouve la source, cet angle étant mesuré dans le système d'axes de référence lié à l'observateur.

En développant en série l'inverse du radical et en négligeant les termes à partir du 3ᵉ ordre on obtient pour l'effet Doppler D:

$$[5] \qquad D \equiv \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda} = \frac{v \cos \varphi}{c} + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}$$

Or pour des nébuleuses situées dans la même direction la vitesse v est d'après les équations [1] proportionnelle à la distance r et l'angle φ est constant pour cette direction. On aura donc en posant $v = \mathrm{K}r$

$$[6] \qquad D = \frac{\mathrm{K} \cos \varphi}{c} r + \frac{1}{2} \frac{\mathrm{K}^2}{c^2} r^2$$

où le coefficient K et $\cos \varphi$ ne dépendent que de la direction choisie.

Il en résulte que deux nébuleuses situées dans une même direction et ayant même effet Doppler sont à égale distance de la voie lactée.

Par conséquent d'après [3] on aura $M_1 - M_2 = m_1 - m_2$ et la mesure des magnitudes apparentes fera connaître la différence dans les magnitudes absolues.

Considérons ensuite le cas où les deux nébuleuses situées dans la même direction ont des effets Doppler différents.

Les équations [2] et [6] donnent:

$$[7] \qquad D = \frac{\mathrm{K} \cos \varphi}{c} 10^{0,2(m-\mathrm{M})+1} + \frac{1}{2} \frac{\mathrm{K}^2}{c^2} 10^{0,4(m-\mathrm{M})+2}$$

Faisons d'abord quelques remarques au sujet de cette relation.

Pour des valeurs données de K, $\cos \varphi$ et M, l'effet Doppler D n'est fonction que de m.

Pour la clarté de l'exposé considérons une représentation graphique de cette fonction au moyen d'un diagramme où m est porté en abscisse et D en ordonnée et en donnant à M, $\cos \varphi$ et K des valeurs fixes conventionnelles, à savoir $\mathrm{M} = -15$, $\cos \varphi = 1$ et pour K la valeur K_0 du coefficient de la loi de Hubble concernant la proportionalité entre la vitesse radiale et la distance, à savoir $K_0 = 5{,}2 \cdot 10^{-4}$ *km*/sec par parsec.

La courbe conventionnelle figurant ainsi D en fonction de *m*, tracée disons depuis la 12^e jusqu'à la 22^e magnitude, est du genre exponentiel. Son gradient, très faible au début, s'accroît progressivement pour devenir très escarpé au delà de la 19^e magnitude.

L'équation [7] montre alors que la forme de la courbe est indépendante de la valeur choisie pour M, c'est-à-dire que si on adopte une autre valeur pour M la courbe ne fait que se déplacer parallèlement à l'axe des abscisses sans changement de forme attendu que D est fonction de $(m - \mathrm{M})$.

Il en est de même si l'on modifie la valeur de K:

En posant en effet $\mu \equiv \dfrac{\log \dfrac{\mathrm{K}}{c}}{0{,}2}$ on aura:

$$\text{[8]} \qquad \mathrm{D} = \cos\varphi \cdot 10^{0{,}2(m-\mathrm{M}+\mu)+1} + \frac{1}{2}\, 10^{0{,}4(m-\mathrm{M}+\mu)+2}$$

c'est-à-dire que D est fonction de $(m + \mu)$, de sorte que la forme de la courbe reste de nouveau inchangée et glisse simplement suivant l'axe des *m* si on choisit une autre valeur de K.

Ce n'est que si l'on modifie $\cos\varphi$ que la courbe change de forme.

En effet en posant $v \equiv \dfrac{\log \cos\varphi}{0{,}2}$ le 1^{er} terme du 2^d membre de [8] devient: $10^{0{,}2(m-\mathrm{M}+\mu+v)+1}$ et ne causerait en l'absence du 2^d terme qu'un glissement de la courbe sans changement de forme. La présence du 2^d terme entraîne toutefois un changement de forme, lequel ne sera sensible que lorsque ce second terme ne sera plus négligeable vis-à-vis du premier, c'est-à-dire pour les grandes vitesses et donc pour les nébuleuses lointaines correspondant aux magnitudes élevées.

Pour donner une idée de ce changement de forme considérons d'une part la courbe conventionnelle pour $\mathrm{M} = -15$, $\mathrm{K} = \mathrm{K}_0$ et $\cos\varphi = 1$ et d'autre part la courbe correspondant à $\cos\varphi = 0{,}707$ ($\varphi = 45°$).

Pour les tronçons de ces deux courbes compris entre les points d'ordonnée $\mathrm{D}_1 = 0{,}5$ (ce qui correspond pour $\mathrm{M} = -15$, $\mathrm{K} = \mathrm{K}_0$ et $\cos\varphi = 1$ à une magnitude apparente $m_1 = 21{,}9$) et les points d'ordonnée $\mathrm{D}_2 = 0{,}01$ (ce qui correspond pour les mêmes valeurs de M, K et $\cos\varphi$ à une magnitude apparente $m_2 = 13{,}8$) la différence de forme se traduit par un quart de magnitude.

On voit que pour une forte variation de $\cos\varphi$ et un grand saut dans l'effet Doppler la différence de forme devient sensible.

Comme pour la direction choisie les valeurs de K et $\cos\varphi$ sont inconnues et qu'il faut pouvoir opérer avec grande précision dans la mesure des rapports de distance dont question plus haut en vue d'atteindre les vitesses transversales et les trajectoires, la courbe conventionnelle ne peut pas être employée et il emporte de connaître pour chaque direction la vraie courbe à lui substituer. Ce n'est que pour de petits écarts dans les effets Doppler que la courbe conventionnelle est utilisable.

Voyons dès lors comment on pourrait pour une direction choisie déterminer la vraie courbe à substituer à la courbe conventionnelle malgré que l'on ignore les valeurs de K et de $\cos\varphi$ correspondant à cette direction.

* * *

Pour éclairer le sujet rappelons d'abord que la détermination des trajectoires dépend de la possibilité de mesurer avec une précision suffisante le rapport des distances de deux nébuleuses situées dans la même direction et que d'après [3] ce rapport dépend de la mesure d'une différence dans les magnitudes absolues.

Avant de parler de la détermination de la vraie courbe appartenant à la direction choisie montrons d'abord comment la connaissance de cette courbe permettrait la mesure de la différence des magnitudes absolues. Nous passerons ensuite à la question de la détermination de la courbe.

Considérons donc deux nébuleuses N_1 et N_2 situées dans la même direction, la première lointaine, la seconde rapprochée, et ayant des magnitudes absolues différentes M_1 et M_2. Soient m_1 et m_2 leurs magnitudes apparentes, D_1 et D_2 leurs effets Doppler.

Recourons comme plus haut à un diagramme où ces nébuleuses seraient figurées par les points N_1 et N_2 dont les cordonnées seraient d'une part m_1 et D_1 pour N_1 et d'autre part m_2 et D_2 pour N_2.

Supposons que l'on connaisse la forme de la courbe susdite de variation de D en fonction de m, bien qu'on ignore en réalité les valeurs de K et de $\cos\varphi$ appartenant à la direction choisie.

Cela étant, si par le point N_1 on trace la courbe en question jusqu'à un point N'_2 ayant même ordonnée D_2 que N_2, la différence entre les abscisses m'_2 de N'_2 et m_2 de N_2 sera égale à la différence $M_1 - M_2$. En effet le point N'_2 correspondra à une nébuleuse ayant même magnitude absolue que N_1 et même effet Doppler que N_2.

Cette nébuleuse N'_2 sera donc d'après [6] à égale distance de la voie lactée que N_2 et dès lors la différence de leurs magnitudes apparentes $m'_2 - m_2$ sera égale à la différence des magnitudes absolues $M_1 - M_2$.

D'après [3] on aura dès lors:

[9] $$\log \frac{r_1}{r_2} = 0{,}2[(m_1 - m_2) - (m'_2 - m_2)] = 0{,}2(m_1 - m'_2)$$

c'est-à-dire que la mesure du rapport des distances n'exige pas la connaissance des magnitudes absolues.

Remarquons que la même construction graphique pourrait se faire au moyen de la courbe conventionnelle à condition que les effets Doppler diffèrent relativement peu.

Pour un écart de 10°/₀ dans les effets Doppler l'erreur sur $M_1 - M_2$ causée par la substitution de la courbe conventionnelle à la vraie courbe est inférieure à cinq millièmes de magnitude lorsque $\varphi = 45°$ et lorsque les nébuleuses ont une magnitude apparente voisine de 18. L'erreur est d'environ un centième de magnitude pour $\varphi = 45°$ et m voisin de 20.

Le procédé graphique en question peut s'interpréter comme une réduction au même effet Doppler ou à la même distance et cette réduction peut donc s'opérer par la courbe conventionnelle lorsque l'écart entre les effect Doppler est minime.

Il reste à montrer comment on pourrait déterminer la courbe de D en fonction de m correspondant aux vraies valeurs de K et de cos φ appartenant à la direction choisie.

* * *

Pour cela il est auparavant encore nécessaire d'examiner la question des corrections à opérer sur les magnitudes apparentes du fait de la vitesse des nébuleuses et de l'absorption sélective causée par l'atmosphère terrestre, le télescope et le récepteur.

On sait qu'une correction des magnitudes est nécessaire à cause du mouvement des nébuleuses, l'échelle des magnitudes présupposant des sources au repos.

Si I est l'intensité lumineuse d'une radiation monochromatique qui serait reçue d'une nébuleuse supposée au repos par rapport à l'observateur et I' l'intensité lorsque la vitesse par rapport à celui-ci est v, la relativité donne

$$\frac{I'}{I} = \frac{1 - \frac{v^2}{c^2}}{\left(1 + \frac{v}{c}\cos\varphi\right)^2} \tag{10}$$

où φ a la même signification que dans l'équation [4].

Il faut en outre tenir compte du décalage global du spectre vers le rouge ainsi que du changement qui en résulte dans l'effet sélectif d'absorption causé par l'atmosphère terrestre, le télescope et le récepteur. Soit A le facteur d'affaiblissement résultant de l'effet combiné du décalage et du changement causé par ce décalage dans les diverses absorptions sélectives. On aura en désignant par E' l'énergie réellement reçue par le récepteur et par E celle qui aurait été reçue si la nébuleuse avait été au repos:

$$\frac{E'}{E} = \frac{1 - \frac{v^2}{c^2}}{\left(1 + \frac{v}{c}\cos\varphi\right)^2} A \tag{11}$$

En traduisant E' et E en magnitudes m' et m on a:

$$m' - m = 2{,}5 \log \frac{\left(1 + \frac{v}{c}\cos\varphi\right)^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) A} \tag{12}$$

Or d'après [4] on a:

$$D + 1 = \frac{1 + \frac{v}{c}\cos\varphi}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \tag{13}$$

D'où

$$[14] \qquad m' - m = 5 \log (D + 1) + 2{,}5 \log \frac{1}{A}$$

Cette formule est analogue à celle donnée par HUBBLE (¹) où le terme 2,5 log 1/A est exprimé en magnitudes et désigné par K.

A cause de l'imprécision attachée à la détermination de ce terme il importe de rechercher des conditions favorables à son évaluation. Comme le coefficient A dépend de la répartition de l'intensité lumineuse dans le spectre ainsi que de l'effet Doppler sa détermination sera moins laborieuse si l'on opère sur des nébuleuses de même type spectral.

Cela étant supposons que l'on soit parvenu à identifier un certain nombre de nébuleuses toutes situées approximativement dans la même direction, disons dans un angle de 5 degrés d'ouverture et couvrant donc une vingtaine de degrés carrés, et ayant des spectres similaires. Leurs magnitudes apparentes et leurs effets Doppler pourront varier dans de larges limites selon la magnitude absolue, la distance et la vitesse.

Représentons ces nébuleuses par des points figuratifs N sur un diagramme (D, m) déjà envisagé plus haut où les ordonnées correspondent aux effets Doppler D et les abscisses aux magnitudes apparentes corrigées m, à savoir d'après [14]:

$$[15] \qquad m = m' - 5 \log (D + 1) - 2{,}5 \log \frac{1}{A}$$

la détermination de A ne devant se faire que pour le type spectral choisi et pour les divers effets Doppler.

On obtiendra ainsi sur le diagramme une série de points s'échelonnant entre certaines limites pour les magnitudes apparentes et pour les effets Doppler et la courbe se rapprochant le plus de ces divers points figurera la vraie courbe de D en fonction de m à substituer à la courbe conventionnelle envisagée plus haut, car elle correspondra aux valeurs de K et de $\cos \varphi$ appartenant à la direction choisie.

(¹) *The realm of the nebulae*, p. 195.

Ce qui précède présuppose, il est vrai, que la répartition des magnitudes absolues entre les nébuleuses est indépendante de leur distance à la voie lactée.

A cet égard rappelons, comme nous l'avons expliqué dans nos précédentes publications [1], que le mouvement des nébuleuses de la région cosmique explorée, rapporté à des axes coordonnés solidaires des énormes masses lointaines engendrant le champ gravifique dans lequel les nébuleuses extra-galactiques sont plongées, est très différent de leur mouvement rapporté à des axes liés à la voie lactée. Tandis que dans ces derniers axes les trajectoires divergent en tous sens à partir de la voie lactée jouant le rôle de point asymptotique, au contraire dans les premiers axes les trajectoires sont très peu divergentes. Dans ceux-ci on a affaire à un mouvement général d'entraînement de l'ensemble des nébuleuses, y compris la voie lactée, tout le système étant emporté à grande vitesse dans le champ gravifique auquel il est soumis.

Cela étant, le calcul renseigne sur la loi de répartition macroscopique des nébuleuses [2] mais n'apprend rien au sujet de la répartition des magnitudes absolues, laquelle est donc à considérer comme inconnue. Mais comme les équations [1] ne sont valables qu'en première approximation notre étude ne s'applique qu'endéans des distances limitées à partir de la voie lactée de l'ordre de quelques centaines de millions d'années-lumière. Or à l'échelle du mouvement d'ensemble des nébuleuses et surtout de l'étendue du champ gravifique dans lequel elles se meuvent, la limite susdite est à considérer comme relativement petite vis-à-vis de l'immensité du domaine englobant toutes les masses en jeu. Bien que la répartition macroscopique des magnitudes absolues soit inconnue dans ce domaine on peut donc néanmoins la considérer comme uniforme si l'on se borne à une partie relative-

---

(1) *La récession des nébuleuses extra-galactiques.* « Annales de la Soc. scientifique de Bruxelles », série I, tome LXII, 1948, p. 27; sérre I, tome LXIII, 1949- p. 46.

(2) *La répartition macroscopique des nébuleuses extra-galactiques.* « Ibidem » T. LX (1940-1946), série I, 3e fascicule, Juillet 1946, p. 115; *La récession des nébuleuses extra-galactiques et leur répartition macroscopique* « Ibidem », 4e fascicule, Décembre 1946, p. 213.

ment petite de ce domaine. En d'autres termes si l'on suppose qu'à grande échelle il y ait une variation de la répartition des magnitudes absolues, cette variation est minime endéans les limites de validité des équations [1].

Ayant ainsi obtenu la vraie courbe de D en fonction de m, il deviendra alors possible de déterminer au moyen de l'équation [9] le rapport des distances r_1/r_2 de deux nébuleuses choisies dans le groupe, ce qui fera connaître les vitesses transversales, lesquelles conduiront finalement aux trajectoires.

Le procédé implique évidemment de grandes difficultés notamment pour s'assurer de la similitude des spectres, mais il faut bien se dire que le mouvement des nébuleuses ne peut être atteint que par la voie spectrométrique, leur déplacement angulaire n'étant que de l'ordre d'un centième de seconde d'arc par siècle. La détermination des vitesses transversales et des trajectoires est donc nécessairement liée aux progrès à réaliser dans les mesures spectroscopiques.

* * *

La méthode envisagée permettrait de mesurer les écarts dans les magnitudes absolues sans devoir déterminer l'affaiblissement A dû à l'effet combiné de décalage du spectre et d'absorption sélective, à condition que les effets Doppler des nébuleuses envisagées diffèrent relativement peu entre eux.

Nous avons vu plus haut que dans ce cas on peut opérer une réduction au même effet Doppler au moyen de la courbe conventionnelle dont question précédemment.

Or pour deux nébuleuses réduites au même effet Doppler et ayant des spectres similaires le coefficient A sera le même malgré l'écart entre les magnitudes absolues de sorte que le terme de correction 2,5 log 1/A sera également le même.

D'autre part l'autre terme de correction 5 log (D + 1) aura aussi même valeur pour ces deux nébuleuses. Ces termes vont donc s'éliminer dans la différence $m_1 - m_2$ des magnitudes apparentes, c'est-à-dire qu'on aura d'après [15]:

[16] $$m_1 - m_2 = m'_1 - m'_2$$

Comme les nèbuleuses réduites au même effet Doppler seront à égale distance de la voie lactée on en aura

$$[17] \qquad M_1 - M_2 = m_1 - m_2 = m'_1 - m'_2$$

c'est-à-dire que l'écart dans les magnitudes absolues sera égal à celui des magnitudes apparentes non corrigées.

On serait ainsi directemont renseigné sur la variation de la magnitude absolue et on pourrait notamment reconnaître les nébuleuses de luminosité anormale. Celles-ci correspondront d'ailleurs sur le diagramme considéré ci-dessus à des points figuratifs situés en dehors de la traînée des points dessinant globalement l'allure de la variation de D en fonction de m.

* * *

Pour la clarté de l'exposé nous avons fait appel à des diagrammes mais le calcul correspondant aux représentations graphiques donnerait plus d'exactitudes.

D'autre part l'étude étant d'un caractère macroscopique il importerait de multiplier autant que possible les observations faites dans une même direction ainsi que le nombre de directions choisies.

Les difficultés auxquelles nous faisions allusion plus haut se trouvent accrues du fait qu'il faut pouvoir opérer sur des nébuleuses suffisamment éloignées pour que l'effet Doppler transversal se manifeste. Comme cet effet est du second ordre, une grande précision est nécessaire pour le séparer de l'effet longitudinal. Il est bien vrai que l'astronomie est essentiellement une science de précision mais dans le cas présent le degré d'exactitude à atteindre est particulièrement élevé.

En conclusion on peut dire que dans cette question de la récession on a affaire à de la gravitation à grande échelle avec des effets en proportion. La gravitation étant un phénomène fondamental de la Nature, les nébuleuses n'y sont pas soustraites et c'est elle seule qui régit tous leurs mouvements.

Le calcul permet de prévoir les lois de ces mouvements mais le problème de leur détermination expérimentale est hérissé de difficultés. Les progrès incessants réalisés dans le domaine de l'observation astronomique font néanmoins espérer que celles-ci pourront être progressivement surmontées en opérant sur des nébuleuses situées dans une même direction.