

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 7 (1962)
Heft: 78

Artikel: La cinématique stellaire et l'étude de la structure et de l'évolution de la galaxie
Autor: Delhaye, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-900024>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

LA CINEMATIQUE STELLAIRE
ET L'ETUDE DE LA STRUCTURE ET DE L'EVOLUTION
DE LA GALAXIE

Par J. DELHAYE, Besançon *

Qu'il s'agisse de l'étude de la structure de la galaxie, ou de celle de ses propriétés évolutives, l'analyse des propriétés des vitesses et des mouvements des étoiles n'a pas cessé — depuis qu'elle a pu être entreprise — tantôt, en révélant des propriétés nouvelles, de suggérer des orientations de recherche, tantôt de confirmer des notions ou des phénomènes découverts dans d'autres domaines de la recherche galactique, souvent de fournir des *estimateurs* pour des grandeurs de nature très variées.

Le but de cette courte note est de rappeler quelques aspects principaux de la contribution de la cinématique stellaire à notre connaissance de la structure spatio-temporelle de la galaxie.

LA CONTRIBUTION DE LA CINEMATIQUE STELLAIRE A L'ETUDE
MACROSCOPIQUE DE LA STRUCTURE GALACTIQUE

Les propriétés cinématiques des objets galactiques apparaissent comme des fonctions de la position de ces objets à l'intérieur de la galaxie. On constate, en d'autres termes, qu'il existe dans la galaxie un *champ de vitesse*. On sait que l'étude de ses propriétés remonte au début de ce siècle, mais qu'elle ne prit son véritable essor qu'avec la découverte de la rotation différentielle de la galaxie, par *Lindblad* et *Oort*, il y a une trentaine d'années.

La représentation du champ de vitesse galactique par une *rotation différentielle* n'est peut-être qu'une première approximation, puisque des résultats obtenus par les astronomes suggèrent qu'il s'y superpose un mouvement systématique radial, une *expansion*, dont la vitesse

*) Conférence présentée à l'Assemblée Générale de la SAS. le 26 mai 1962 à Genève.

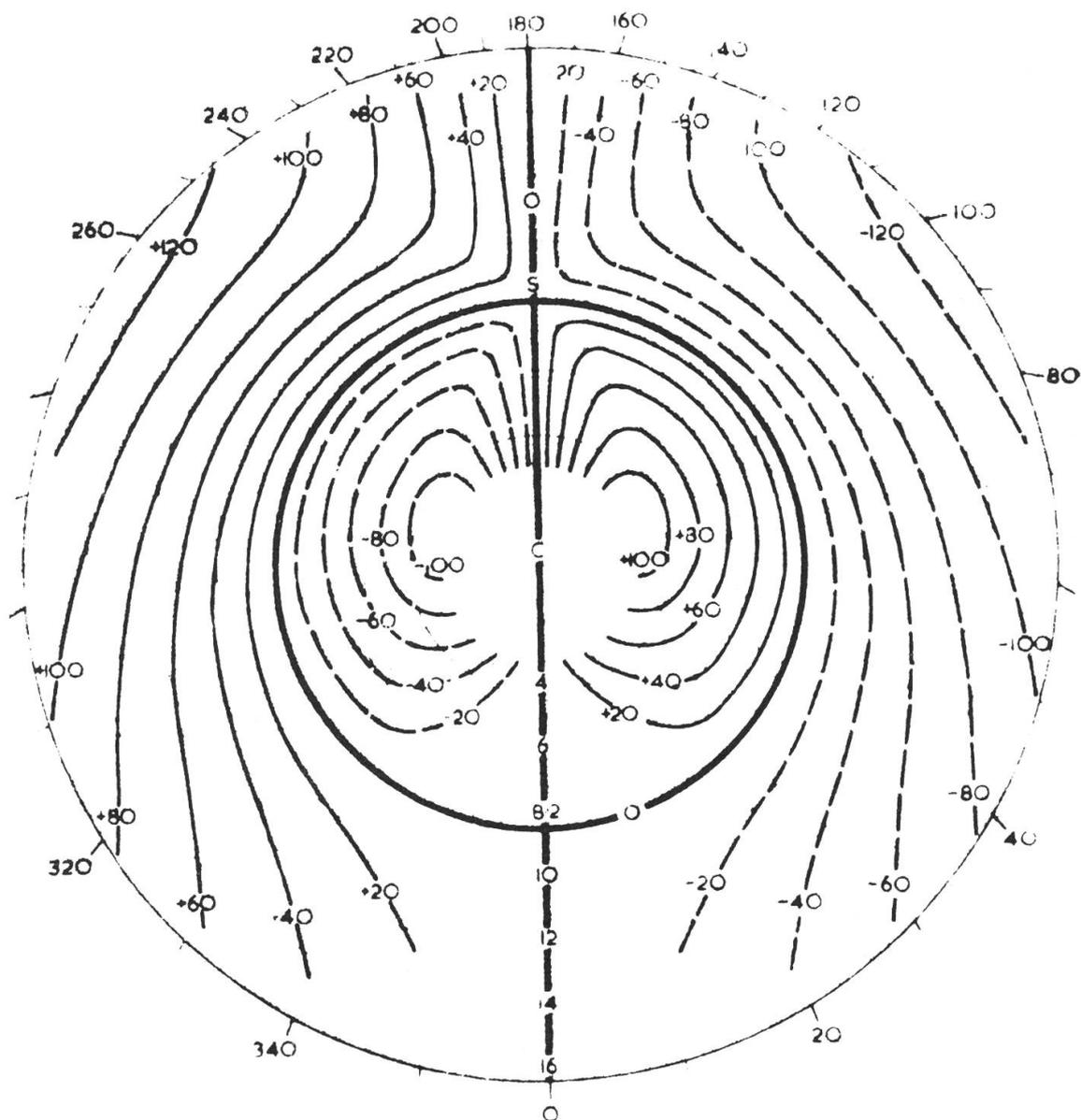


Figure 1 — Représentation graphique de la relation *vitesse radiale-position* dans le plan galactique, d'après *Kerr*. Les courbes tracées sont des courbes d'égale vitesse radiale. Les nombres portés le long de la circonférence extérieure sont les longitudes galactiques héliocentriques. Ceux portés le long du diamètre vertical correspondent aux distances galactocentriques, en kiloparsecs. Ceux dont les différentes courbes sont affectées représentent la vitesse radiale correspondant à chacune d'elles, en kilomètres par seconde.

atteindrait au voisinage du soleil, selon *Kerr*, 7 kilomètres par seconde (rappelons que la vitesse de rotation au voisinage du soleil dépasse 200 kilomètres par seconde). Quoiqu'il en soit de ce résultat qui n'est pas encore entièrement confirmé, cette représentation de première approximation a cependant fourni une méthode d'estimation

des distances dans la galaxie qui a, en particulier, permis aux radio-astronomes d'exploiter avec le succès que l'on sait les observations de la raie de 21 cm de longueur d'onde émise par l'hydrogène neutre interstellaire (figure 1). Même si le schéma adopté d'une galaxie stationnaire dans laquelle les mouvements moyens ne comportent pas de composante radiale s'avérait trop simple, il semble difficile de penser que les résultats actuellement admis puissent s'en trouver bouleversés, les anomalies qui permettent actuellement de douter du *modèle simplifié* restant « du second ordre ».

LA CONTRIBUTION DE LA CINÉMATIQUE STELLAIRE A L'ETUDE DE LA STRUCTURE FINE DE LA GALAXIE

Nous dirons que l'on étudie la structure *fine* de la galaxie quand on recherche la nature et les propriétés de la distribution dans l'espace des objets d'un certain type.

On sait que les dénombrements d'objets brillants permettent d'entreprendre directement cette étude. Cette possibilité reste cependant limitée à quelques types d'objets d'éclat intrinsèque assez exceptionnel : amas globulaires, variables RR Lyrae, céphéides, novae, etc. En général, la méthode suivie consiste à représenter les propriétés globales de la distribution étudiée par un nombre de paramètres aussi restreint que possible, et à chercher des *estimateurs* indirects des valeurs de ces paramètres : ces estimateurs sont de nature cinématique. On utilise, d'une part, les vitesses moyennes dans la direction perpendiculaire au plan de symétrie de la galaxie et, d'autre part, les vitesses moyennes dans la direction de la rotation galactique. Dans le premier cas, on estime *l'épaisseur* du volume peuplé par les objets du type considéré ; dans le second cas, on estime leur *taux de concentration* vers le centre de la galaxie.

Les résultats suivants concernent, par exemple, la demi-épaisseur z_1 de la galaxie, déterminée pour différents types d'objets à partir des vitesses quadratiques moyennes (c) dans la direction perpendiculaire au plan galactique, la grandeur z_1 étant définie comme la distance au plan galactique pour laquelle la densité est devenue le dixième de ce qu'elle est au voisinage du plan galactique, où elle atteint sa valeur maximale, l'accélération perpendiculaire au plan galactique étant connue (les recherches les plus récentes sur cette accélération sont dues à Hill, Nahon et Oort).

Type d'objets	c km/s	z_1 parsecs
Calcium interstellaire	6	160
Céphéides	5	
Supergéantes O-B 5	9	
Supergéantes F-M	6	
Etoiles B et A de la séquence principale		
BO	6	180
AO	9	
A5	7	
Géantes A	8	210
Géantes F et G	12	310
Amas galactiques	14	380
Naines F 5	14	440
G0	20	
G5	17	
K0	11	
K5	18	
M0	16	
M5	16	
Géantes K-M	16	450
Etoiles carbonées	23	750
Nébuleuses planétaires	24	800
Sous-géantes	25	850
Naines blanches	30	1100
Sous-naines	76	(4000)

Des méthodes de ce genre ont été souvent employées, depuis une dizaine d'années, pour la recherche de corrélations éventuelles entre propriétés spatio-temporelles et particularités spectrales. Nous en donnerons deux exemples très particuliers.

Miss *Roman* a attiré l'attention, en 1950, sur l'hétérogénéité de certains groupes d'étoiles sélectionnés au moyen des deux coordonnées classiques du diagramme de Hertzsprung-Russel – le type spectral et la luminosité.

Une subdivision de ces groupes peut être effectuée sur la base de critères purement spectroscopiques, tenant compte d'anomalies dans l'intensité de certaines raies, sans effet sur la classification spectrale classique. Les plus importants des « sous-groupes » ainsi constitués sont caractérisés par l'intensité des raies des métaux; *raies intenses* ou *raies faibles*. L'étude des vitesses des étoiles ainsi classées montre que ces sous-groupes ont des propriétés cinématiques nettement différentes, les étoiles à raies métalliques intenses ayant des vitesses plus petites, celles à raies faibles des vitesses plus grandes:

	<i>Vitesse moyenne en km/s</i>	<i>Dispersion en km/s</i>
<i>Etoiles à raies métalliques intenses :</i>		
F 5 – G 5	$28,4 \pm 1,7$	14,5
G 5 – K 1	$24,7 \pm 1,3$	12,6
<i>Etoiles à raies métalliques faibles :</i>		
F 5 – G 5	$42,7 \pm 2,8$	22,2
G 5 – K 1	$40,9 \pm 2,3$	24,1

De ces résultats, on peut déduire évidemment que les différences spectrales qui ont été à l'origine de la classification ne constituent pas de simples « anomalies », mais qu'elles révèlent au contraire l'existence de deux « familles » distinctes au sein d'un groupe que l'on croyait homogène. Cette étude concerne les derniers types F, les étoiles G et les premiers types K, géantes ou naines. *Vyssotsky* et *Skumanich* pour les naines G, et *Yoss* pour les géantes K, ont trouvé des résultats analogues à ceux de *Miss Roman*, mettant eux aussi en évidence une corrélation entre propriétés spectroscopiques et propriétés cinématiques.

Un résultat de même nature a été signalé par l'auteur de la présente note à propos des naines de type M. L'anomalie spectroscopique est ici constituée par des *raies d'émission* de l'hydrogène ou du calcium ionisé observables dans le spectre de certaines naines rouges (désignées pour cette raison par le symbole dMe), alors que les spectres d'étoiles de cette classe ne devraient pas en comporter; on constate que les vitesses des étoiles dMe sont beaucoup plus faibles que celles des naines M normales :

	Vitesse moyenne en km / s	Dispersion en km / s
<i>Etoiles dM à raies d'émission</i>	11 ± 2	18
<i>Etoiles dM normales</i>	22 ± 1	30

LA CONTRIBUTION DE LA CINEMATIQUE STELLAIRE A L'ETUDE DES PROPRIETES EVOLUTIVES DES ETOILES ET DE LA GALAXIE

Dans les deux exemples qui viennent d'être cités, les différences observées dans les paramètres mesurables reflètent, probablement, essentiellement des *différences d'âges*. Dans le cas examiné par Miss Roman, il s'agit de différences d'abondance en éléments lourds, provenant de différences de même nature dans le milieu interstellaire au sein duquel les étoiles se sont formées : les étoiles les plus récemment formées sont plus riches en éléments lourds en raison de l'enrichissement progressif du milieu interstellaire lui-même en éléments de cette nature. Dans le cas des naines rouges, les étoiles à raies d'émission sont probablement des étoiles qui n'ont pas encore atteint l'état d'équilibre qui caractérise la séquence principale.

On voit, par ces deux exemples, que la cinématique stellaire contribue à l'étude des propriétés évolutives de la galaxie.

Si les propriétés cinématiques des étoiles et, en général, des objets galactiques, permettent d'aborder cette étude, c'est en raison des *effets d'âge* que ces propriétés comportent.

On sait en effet que la vitesse d'une étoile subit l'« effet du temps » par suite des échanges d'énergie qui interviennent entre elle et les autres objets galactiques auprès desquels elle est amenée à passer au cours de son mouvement. Ces objets sont, d'abord, les autres étoiles. On montre que les perturbations du mouvement de cette *étoile-test* ne deviennent, dans ce cas, statistiquement sensibles qu'après une durée de l'ordre de 10^{14} années (*temps de relaxation*), du moins si l'on admet que l'étoile ne traverse, au cours de son mouvement, que des régions où les conditions de peuplement sont semblables à celles qui règnent actuellement au voisinage du soleil. Mais il existe aussi dans la galaxie, et en grand nombre, des nuages de matière interstellaire, dont on n'a reconnu que depuis peu l'importance du point de vue qui nous occupe maintenant (Spitzer et Schwarzschild, 1953). Parmi

ces nuages, il en est de relativement petits (5 parsecs de rayon, 100 masses solaires) dont l'action réduit le temps de relaxation à 10^{11} années; l'âge de la galaxie étant de l'ordre de 10^{10} années, cet effet est donc négligeable, comme celui des étoiles. Mais il en existe de considérablement plus importants (quelques centaines de parsecs de rayon; $10^5 - 10^6$ masses solaires): leur action est cette fois rapidement perceptible et doit être considérée.

L'effet des échanges d'énergie avec les gros nuages interstellaires consiste en un accroissement progressif de la dispersion des vitesses des étoiles, celle-ci pouvant s'écrire

$$\sigma(\tau) = \sigma(0) (1 + \tau / t_E)^{1/3} ,$$

$\sigma(\tau)$ et $\sigma(0)$ représentant les dispersions des vitesses à l'époque considérée et à l'époque origine, respectivement, et t_E une constante dépendant de l'unité employée pour exprimer l'âge τ .

La validité de cette loi théorique est aisément vérifiable à l'aide des propriétés cinématiques des étoiles dont l'âge peut être estimé. Cette vérification a été faite notamment par *Von Hoerner* (1961) qui trouve pour la dispersion des vitesses des étoiles à l'origine, $\sigma(0)$, une valeur de 10 kilomètres par seconde. Cependant, cette valeur ne convient pas pour les étoiles les plus vieilles que nous connaissons et *von Hoerner* propose, pour expliquer cette divergence, d'admettre qu'à l'époque ancienne à laquelle ces étoiles se sont formées, la turbulence de la matière interstellaire était environ 10 fois supérieure à celle que nous connaissons actuellement.

On voit l'intérêt de tels résultats pour l'étude de l'évolution de la galaxie. Un autre exemple, d'une nature différente, sera simplement rappelé ici: c'est celui des estimations cinématiques d'âges pour les associations stellaires en expansion. On sait que les groupements instables d'étoiles appelés *associations* se dissocient assez rapidement pour que, dans les cas favorables, leur expansion soit mesurable dans les mouvements propres de leurs membres, et qu'un calcul fait *à rebours* permet alors de connaître depuis combien de temps cette dissociation a pris naissance. Si l'on admet que l'instabilité du groupe s'est manifestée dès la formation des étoiles qui le constituent, on dispose ainsi d'une estimation de l'âge de ces étoiles. Les âges trouvés (quelques millions d'années au maximum) sont en bon accord avec les âges auxquels conduisent les théories actuellement admises pour l'évolution des étoiles massives.

L'instabilité des groupes d'étoiles récemment formées a permis de mettre en évidence l'existence d'étoiles jeunes, de grande masse, animées de vitesses anormalement grandes, en contradiction avec la loi de Spitzer et Schwarzschild rappelée plus haut. Découvertes par *Blaauw*, ces étoiles ont permis à cet astronome de proposer, pour expliquer leurs propriétés cinématiques anormales, une hypothèse audacieuse, mais qui semble bien expliquer les phénomènes observés : ces étoiles seraient des *étoiles en fuite (runaway stars)*, dont chacune aurait appartenu à l'origine à une association dont elle se serait échappée aussitôt, lâchée par un compagnon primaire très massif auquel elle se trouvait associée au sein d'une *proto-binaire*, compagnon primaire instable et rapidement détruit dans une explosion de type *supernova*. On voit tout de suite les problèmes que soulève un tel phénomène pour l'astrophysique théorique : il reste hypothétique, mais le fait qui a conduit son auteur à le proposer est, lui, un fait d'observation bien établi et dont on connaît plusieurs exemples.

Si le lecteur se rappelle que la plupart des exemples qui viennent d'être donnés pour illustrer la part prise par la cinématique stellaire dans le développement des recherches galactiques font appel à la connaissance de *mouvements propres* d'étoiles, c'est-à-dire à des grandeurs fournies par les techniques les plus vieilles de l'astronomie, il ne manquera pas de constater que ces dernières, malgré leur âge, gardent toute leur importance, qu'elles en prennent même de plus en plus, d'une part en raison des besoins nouveaux qui apparaissent sans cesse, mais aussi en raison du rajeunissement de l'astrométrie auquel nous assistons à présent.

KINEMATIK DER STERNE UND UNTERSUCHUNG VON STRUKTUR UND ENTWICKLUNG DER MILCHSTRASSE

Zusammenfassung :

Die Kenntnis der Eigenbewegung der Sterne, Aufgabe der Astronomie, erlaubt Schlüsse zu ziehen auf die Struktur der Milchstrasse im Großen (Rotation der Galaxis), im Kleinen (Dicke der Galaxis und örtliche Konzentration der Sterne, beide abhängig von den zu deren Bestimmung herangezogenen Objekten) sowie auf ihre Entwicklung (Störung der Bewegung einzelner Sterne durch die übrigen, Altersunterschiede, Zugehörigkeit der Sterne zu bestimmten Assoziationen).