



# Vera Rubin

# Programme

Biographie rapide

Travaux scientifiques

- Répartition des galaxies
- Vitesses des étoiles dans la Galaxie
- Fusion de galaxies
- La galaxie des Antennes
- Vitesses d'éloignement des galaxies
- Matière noire

Féminisme

Distinctions et hommages

L'observatoire Vera Rubin

Conclusion

# Biographie rapide

## Vera Florence Cooper

Naissance : 23 juillet 1928 à Philadelphie.

Mariage : avec **Robert Joshua Rubin** (1926-2008),  
le 25 juin 1948.

Décès : 25 décembre 2016 à Princeton (88 ans).

Intérêt pour le ciel dès 12 ans. Son père lui construit  
un petit instrument d'observation.  
Elle fait ses premières photos avec.

Elle eut 4 enfants (3 garçons et 1 fille).  
Tous ont obtenu un doctorat en sciences :

**David** (1950) docteur en géologie

**Judy** (1952-2014) docteur en astronomie

**Karl** (1956) docteur en mathématiques

**Allan** (1960) docteur en géologie



Vera Florence Cooper adolescente,  
et l'instrument construit par son père

# Biographie rapide

## Études

De tous temps, ses professeurs lui ont déconseillé de se lancer dans une carrière astronomique (ou scientifique), car elle devrait suivre son mari et élever ses enfants !

1945 : Vassar Collège (université féminine)

1948 : Bachelor of arts  
Université Cornell. Elle refuse un poste à Harvard pour suivre son mari.  
Profs : *Richard Feynman*, *Phil Morrison* et *Hans Bethe*

1954 : Doctorat à Georgetown (toujours pour suivre son mari).  
« Fluctuations dans la répartition des galaxies ».  
Superviseur de thèse : *George Gamov*. Elle a 26 ans, 2 enfants.



George Gamov (1904-1968)

## Début de carrière

1955-56 : Enseignante en mathématiques et chercheuse en astronomie.

1960 : Naissance de son quatrième enfant. Assiste à une conférence aux Pays-Bas sur « Problèmes actuels concernant la structure et l'évolution des systèmes galactiques ». Elle y rencontre des astronomes réputés qui deviendront ses amis : *Jan Oort*, *Margaret* et *geoffrey Burbidge*...

1962 : Cours à Georgetown à 6 étudiants : « Peut-on utiliser les étoiles cataloguées pour déterminer la courbe de rotation des étoiles éloignées du centre de notre Galaxie ? »  
Réponse : la courbe ne décroît pas.  
Résultat récusé par ses collègues.

# Biographie rapide

1964 : Elle obtient un poste à l'institut Carnegie (première femme !).  
Rencontre **Kent Ford** (1931-2023) qui a développé un photomultiplicateur.



*Vera Rubin au Lowell Observatory en 1965*

Après Margaret Burbidge, elle est la deuxième femme à utiliser le télescope du mont Palomar.

# Travaux scientifiques

## Répartition des galaxies

Thèse : les galaxies ne sont pas réparties uniformément dans l'univers.

## Vitesses des étoiles dans la Galaxie

Comment mesurer la vitesse des étoiles

Convaincue qu'elle avait raison, elle reprend l'idée avec ses 6 étudiants, mais cette fois avec ses propres mesures sur des spectres réalisés avec le photomultiplicateur de Kent. Au vu de la situation de la Terre, elle ne peut pas mesurer toutes les étoiles de la périphérie de la Voie Lactée.

## Fusion de galaxies

En 1990, Vera Rubin, qui étudie les galaxies de la Vierge, remarque des anomalies dans la galaxie lenticulaire NGC 4550.

Elle mesure les vitesses de ses étoiles et note que certaines tournent dans un sens et d'autres dans l'autre sens.

Elle en conclut que la galaxie possède deux disques distincts.

Cette galaxie est le résultat de la fusion de deux galaxies spirales dont l'une tourne dans le sens inverse de l'autre.

Cette découverte a permis à Vera Rubin de proposer à ses collègues de revoir leurs logiciels d'analyse de données, pas assez performants pour ce type de cas complexe.





# Travaux scientifiques

## La galaxie des antennes

Les Herschel découvrent cet objet en 1785, dans la constellation du Corbeau. Il fait partie de l'amas de galaxies de la Vierge.

Dans les années 1966-1970, Vera Rubin s'y intéresse. On suppose alors que ce sont des galaxies en interaction, mais sans preuves.

Ses spectres (très performants) de différentes régions de l'objet l'amènent à démontrer que ce sont bien deux galaxies tournant l'une autour de l'autre.



# Travaux scientifiques

## Vitesses d'éloignement des galaxies (effet Rubin-Ford)

Avec l'amélioration de l'instrumentation dans les années 1970, elle s'intéresse à la constante de Hubble.

Qu'est-ce que la constante de Hubble ?

Sa question est de savoir si cette constante est bien constante dans toutes les directions de l'espace.

Autrement dit, l'univers est-il homogène dans toutes les directions. Pour les astronomes de l'époque, la réponse est « OUI ». Vera Rubin, dans sa thèse, prouva le contraire !

Pour cela, il suffit (!) de mesurer les vitesses d'éloignement (de récession) et les distances de galaxies dans toutes les directions, et d'ainsi d'évaluer cette constante.

Avec sa fille Judy et Kent Ford, ils découvrent que les vitesses d'éloignement des galaxies de magnitude semblable sont différentes d'une direction à l'autre. C'est l'effet Rubin-Ford mis en évidence dans les années 1950. Les éditeurs scientifiques (*astrophysical journal* et *astronomical journal*) de l'époque refusent l'article. Les résultats ne seront publiés qu'en 1976.

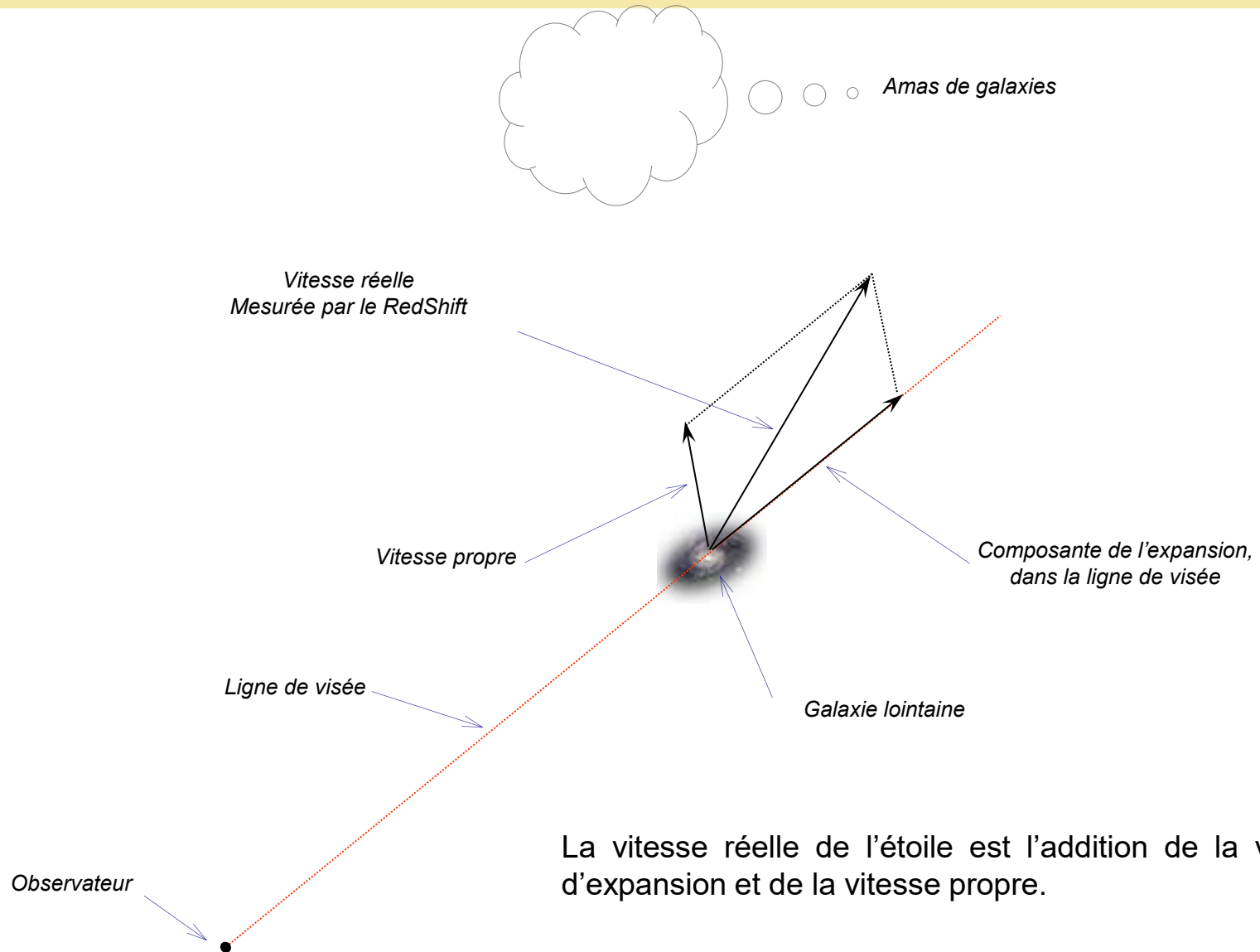
Cet effet est « apparent ».

Les différences notées par Vera et son équipe montrent que les galaxies ont des vitesses propres, qui s'ajoutent à l'expansion. Les galaxies sont mutuellement attirées les unes par les autres, ce qui modifie la vitesse réelle par rapport à l'expansion.

Deux exemples :



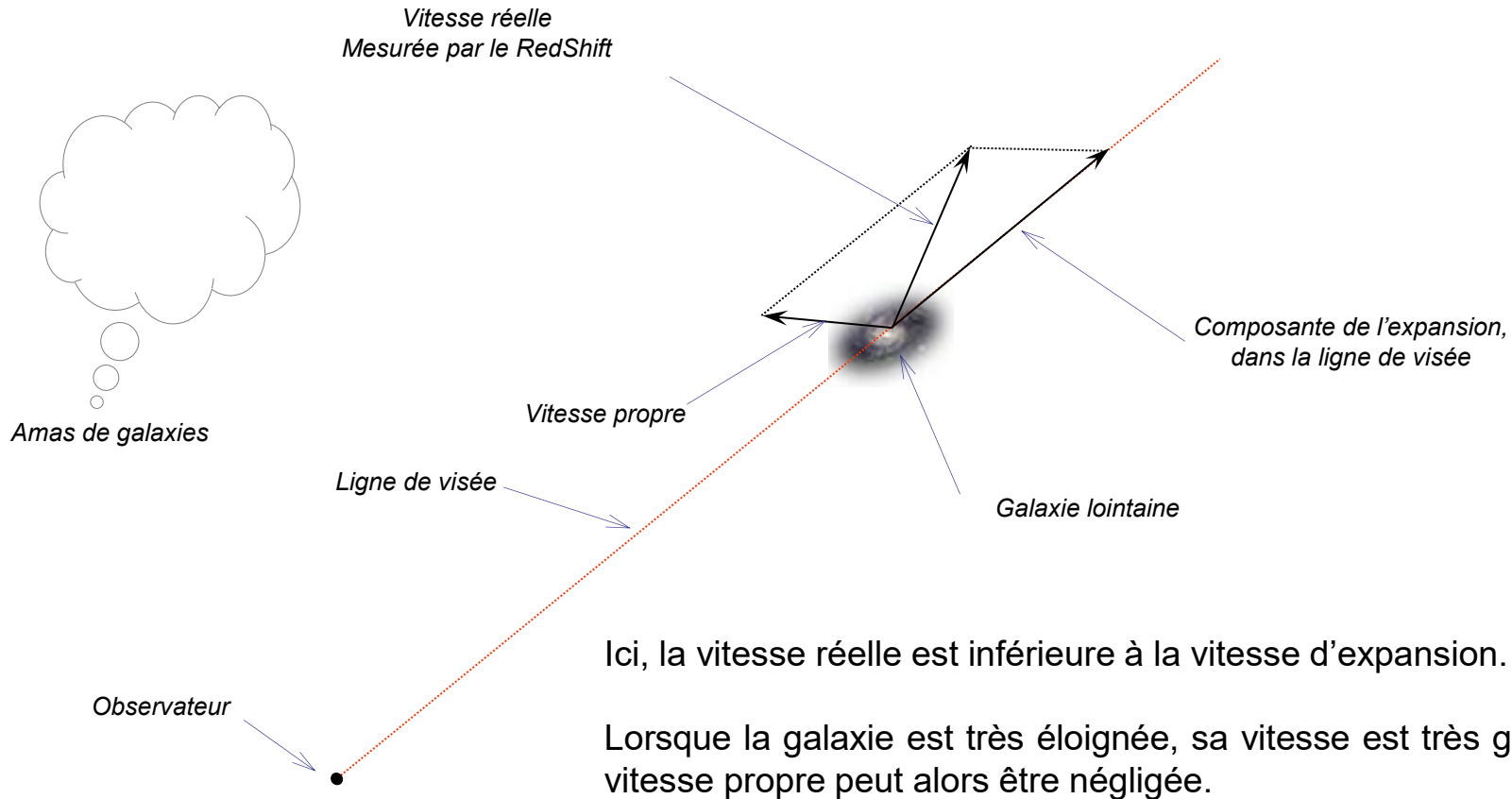
# Travaux scientifiques



La vitesse réelle de l'étoile est l'addition de la vitesse d'expansion et de la vitesse propre.

Ici, la vitesse réelle est supérieure à la vitesse d'expansion.

# Travaux scientifiques



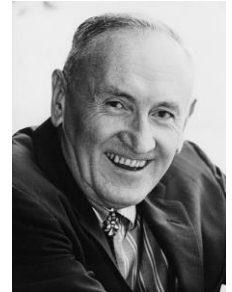
Vera Rubin démontre ainsi que les galaxies sont attirées dans la même direction par un regroupement énorme de galaxies qui fut nommé un peu plus tard, grâce à cet effet Rubin-Ford, « le Grand Attracteur ».

Cela montre également, qu'aux échelles des mesures, l'univers n'est pas homogène, qu'il existe des lieux plus denses en galaxies, et des vides relatifs.

# Travaux scientifiques

## La matière noire

**Fritz Zwicky** (1898-1974) suggère, dès 1933, la présence d'une matière invisible qui permettrait la cohésion de 7 galaxies de l'amas Coma. Ses collègues ne sont pas convaincus. L'idée sera oubliée, et reprise dans les années 1960-70.



A cette époque, les astrophysiciens s'intéressent nombreux au centre des galaxies, et publient énormément d'articles de recherche sur ce sujet.

Vera Rubin, aidée par Kent Ford et son photomultiplicateur, va s'intéresser aux étoiles périphériques des galaxies, sujet délaissé par ses collègues. Elle travaille en particulier sur la galaxie d'Andromède, la plus proche de nous.

Dans les années 1940, **Walter Baade** (1893-1960) avait travaillé sur les étoiles de cette galaxie. Vera récupère les plaques faites à cette époque. Baade avait identifié les régions d'intérêt de la galaxie. Vera s'en inspira et refit des mesures plus précises.



**Morton Roberts** (1926-2024) étudie les étoiles d'Andromède en radio, avec la raie à 21 cm de l'hydrogène neutre. Il note l'accélération anormale des étoiles loin du centre, sans vraiment l'expliquer.



En 1965, les instruments sont nettement plus performants et plus précis.

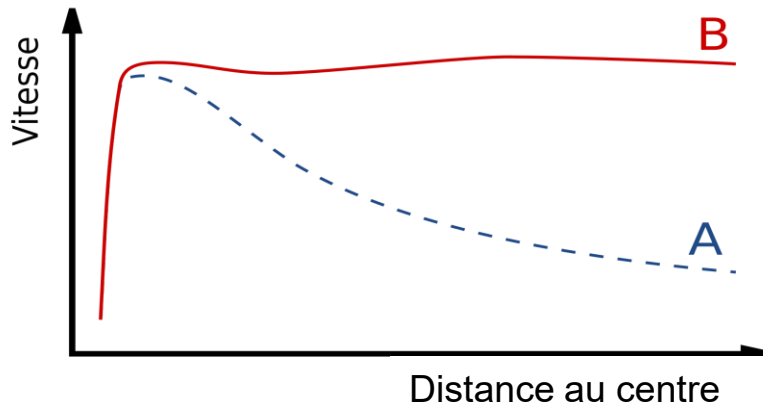
Vera Rubin détermine les vitesses des étoiles de cette galaxie avec la raie  $H\alpha$  de l'hydrogène ionisé, dans le visible.

D'après les lois de Newton, applicables ici, plus l'étoile est loin du centre de la galaxie, plus elle se déplace lentement. C'est aussi le cas des planètes du système solaire.

Elle montre en optique, avec précision, que les étoiles périphériques sont beaucoup plus rapides que ne le prévoit la théorie classique.

# Travaux scientifiques

Les mesures des vitesses des étoiles du centre vers l'extérieur donnent le graphique suivant :



A : en s'éloignant du centre de la galaxie, les étoiles sont, selon les lois de Newton, de moins en moins rapides.

B : résultat des mesures

On le voit, en s'éloignant du centre, les étoiles ont une vitesse à peu près constante.

Vera Rubin multiplie les mesures sur d'autres galaxies, donnant les mêmes résultats, et publie ses conclusions en 1978.

Un peu plus tard, d'autres feront les mêmes mesures, en confirmant les résultats de Vera Rubin.

La conclusion est que ces résultats impliquent l'existence, à la périphérie des galaxies, de halos massifs dont la masse augmente avec la distance au centre galactique.

Notons que les résultats des observations optiques concordent parfaitement avec ceux des observations radio, alors que chaque technique vise des objets différents.

Ces halos massifs sont appelés **la Matière noire**.

Nous ne savons pas, encore aujourd'hui, de quoi elle est constituée.

# Féminisme

Vera Rubin est attachée à la reconnaissance des capacités scientifiques des femmes.

- Lorsqu'elle rencontrait son directeur de thèse, elle devait rester à l'entrée du laboratoire car les femmes n'y étaient pas autorisées (début des années 1950).
- Les femmes ne sont pas employées à l'Institut Carnegie. Vera Rubin fut la première, de par la qualité de son travail.
- Elle est la première femme à travailler à l'observatoire du mont Palomar, en 1965. Précédemment, les femmes n'étaient pas autorisées. Argument : pas de toilettes femmes !
- Lors de son travail à l'Institut Carnegie, elle demande et obtient de partir à 15h pour s'occuper de ses enfants. Son salaire est amputé d'un tiers.  
*« J'ai accompli presque toute ma carrière à temps partiel. À 3 heures, j'étais à la maison pour m'occuper des enfants. »*

- **Sandra Faber** (1944- ) est l'une de ses brillantes doctorantes. Après son diplôme, Vera la recommande au directeur de l'observatoire de Lick :

*« Cher Dr. Kraft,*

*Je vous écris pour vous recommander la Dr Sandra Faber qui a fait une demande pour intégrer l'observatoire Lick. Dr Faber est une personne brillante, créative, imaginative, pointue, curieuse, loyale, exigeante et grosse travailleuse. Je pense qu'il n'y a pas de chose qu'elle ne puisse réaliser. Elle sera une bonne recrue pour votre équipe. Et un jour peut-être sera-t-elle directeur de l'observatoire Lick.*

*Sincèrement. Vera Rubin »*



Sandra Moore Faber  
en 2009 (65 ans)

# Féminisme

A la mort de Vera Rubin (2016), Sandra Faber dira d'elle : « Vera a été la lumière qui a guidé une génération de femmes astronomes.



Vera Rubin en 2009 (81 ans)

- En 1981, Vera Rubin est la deuxième femme (après Margaret Burbidge) élue à l'Académie nationale des sciences américaines. Elle déclare :
  - « Je me suis battue avec l'Académie des Sciences. Je suis choquée du faible nombre de femmes élues chaque année. C'est la partie la plus sombre de ma vie. Il y a trente ans, je pensais que tout était possible. »
  - « Je vis et je travaille en partant des trois principes suivants :
    1. Il n'existe aucun problème scientifique qu'un homme peut résoudre et qu'une femme ne pourrait pas.
    2. A l'échelle de la planète, la moitié des neurones appartiennent aux femmes.
    3. Nous avons tous besoin d'une permission pour faire de la science mais, pour des raisons profondément ancrées dans notre histoire, cette permission est bien plus souvent donnée aux hommes qu'aux femmes. »

# Féminisme

- En 1996, à 68 ans, elle reçoit la médaille d'or de la *Royal Astronomical Society*, pour sa « distinction scientifique », et « sa détermination et son courage à promouvoir le rôle des femmes en astronomie. »

Elle est la deuxième femme honorée de cette médaille après *Caroline Herschel* en 1828. 168 ans après...

183 scientifiques ont reçu cette médaille entre 1828 (première femme) et 1996 (deuxième femme). Tous des hommes.

Depuis 1996, 6 femmes ont reçu cette distinction honorifique :

- 2005 : Margaret Burbidge (article B<sup>2</sup>FH sur la nucléosynthèse dans les étoiles)
- 2017 : Michèle Karen Dougherty (directrice des missions vers Saturne et Jupiter)
- 2019 : Margaret Kivelson (Planétologue. Magnétosphère de la Terre, Jupiter et Saturne)
- 2020 : Sandra Faber (relation Faber-Jackson : distance des galaxies elliptiques)
- 2020 : Yvonne Elsworth (héliosismologie et structure interne du Soleil)
- 2021 : Jocelyn Bell (découverte des pulsars)



# Distinctions et hommages

- 1993 : National Medal of Science remise par le président Bill Clinton
- 1994 : prix Henry Norris Russell de la Société américaine d'astronomie
- 1994 : prix Dickson en Sciences de l'université Carnegie-Mellon
- 1996 : médaille d'or de la *Royal Astronomical Society*
- 2002 : prix Peter-Gruber de cosmologie
- 2003 : médaille Bruce
- 2004 : médaille James-Craig-Watson



Vera Rubin (65 ans) reçoit la médaille nationale des sciences des mains de Bill Clinton. 1993.

Vera Rubin n'a pas obtenu le prix Nobel, bien que ses collègues le regrettent.

Dans ses mémoires, elle écrit :

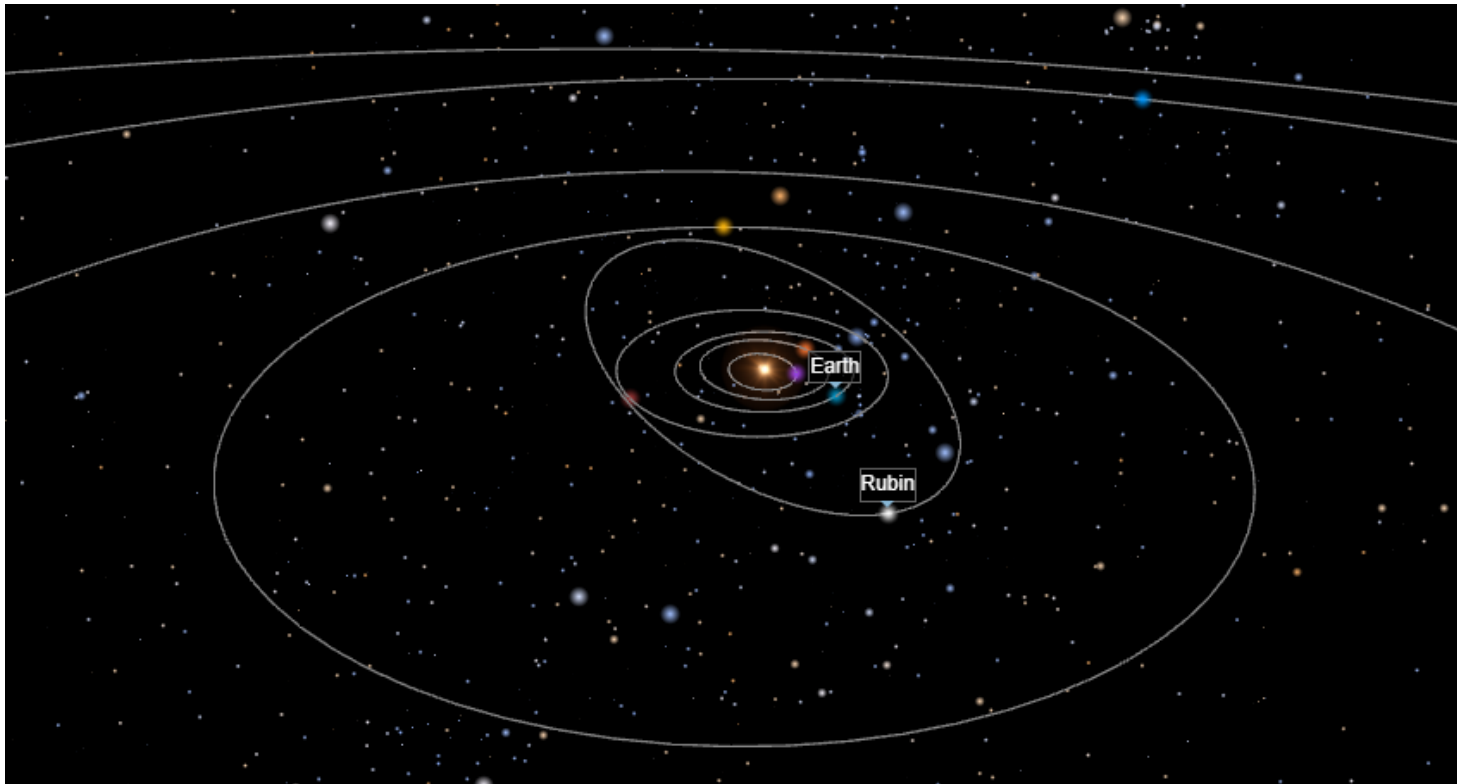
*« Mes résultats m'importent plus que mon nom. Si les astronomes utilisent encore mes données dans les années à venir, ce sera le plus grand compliment qu'ils pourraient me faire. »*

Elle disait aussi :

*« Ne vous occupez pas des prix et de la renommée. Le prix réel, c'est de trouver quelque chose de nouveau là-haut ! »*

# Distinctions et hommages

- De 1996 à 2002, elle est membre du **National Science Board**. Elle rédige des rapports pour la présidence et le Congrès, témoigne devant les commissions du Congrès. Elle est amenée à travailler avec Hillary Clinton.
- De 1997 à 2000, elle est présidente de l'**International Astronomy Union** (UAI en français : Union Astronomique Internationale).
- L'**astéroïde 5726** de la ceinture principale porte son nom. Il a été découvert par Carolyn et Eugène Schoemaker en 1988 à l'observatoire du mont Palomar.



# L'Observatoire Vera Rubin

Ce télescope à 3 miroirs possède un champ extrêmement large ( $3,5^\circ$ ) et un miroir primaire de 8,42 m. Il est américain et situé au Cerro Pachon (2 680 m), dans le désert d'Atacama au Chili.

Au foyer de l'instrument, est installée une caméra grand champ comprenant 3,2 milliards de pixels, sensibles de l'UV à l'IR.

Première lumière en avril 2025.

Premières images publiées en juin 2025.



Les buts de ce télescope :

- Détecter et tracer 10 000 objets dans la ceinture de Kuiper et localiser les objets géocroiseurs, d'un diamètre supérieur à 300 mètres, susceptibles de constituer une menace pour la Terre.
- Découvrir et surveiller de nombreux objets variables comme les supernovas...
- Réaliser des images de l'espace profond sur plusieurs centaines de degrés carrés pour étudier la distribution de la matière noire autour des lentilles gravitationnelles faibles.

Avec ses caractéristiques uniques, il peut photographier l'ensemble du ciel austral en un peu plus de trois jours, avec magnitude apparente inférieure ou égale à 24.

Sa résolution spatiale est de 0,2 seconde d'arc.

# Résumé

## Vera Cooper Rubin, celle qui a découvert le côté sombre de l'Univers

- Grande dame de l'astronomie récente. A grandement fait avancer la connaissance dans ce domaine.
- Travaux sur les galaxies :
  - Fusion de galaxies
  - Mesures des vitesses des galaxies
  - Répartition des galaxies dans l'Univers
  - Vitesses des étoiles dans une galaxie : matière noire
- Promotion du rôle des femmes en astronomie
- Beaucoup de récompenses pour son travail, dont la médaille d'or de la Royal Astronomical Society, un astéroïde et le télescope Vera Rubin





*Vivre mieux !*

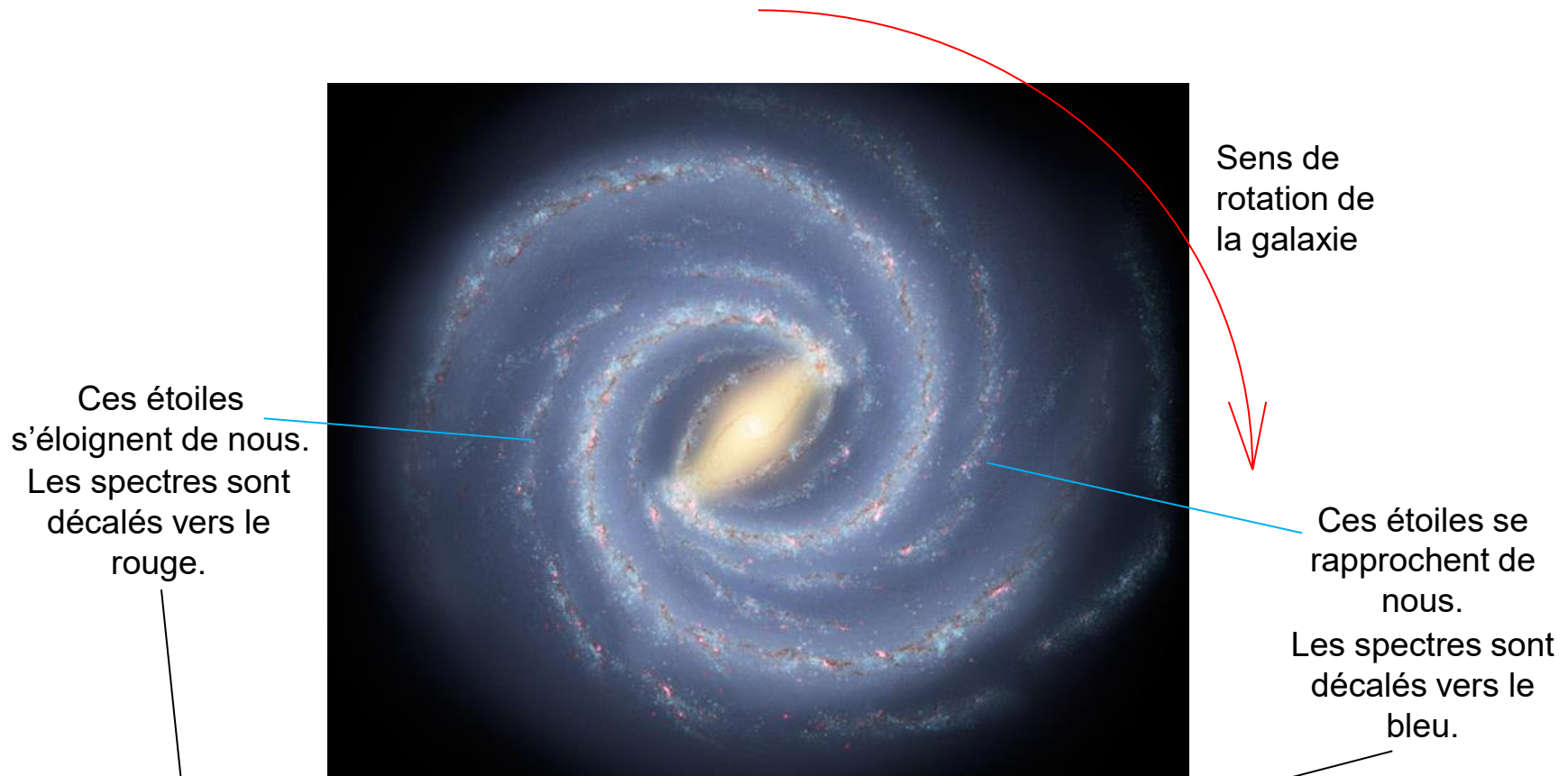
ASSOCIATION  
DE MAILLET

Club d'astronomie

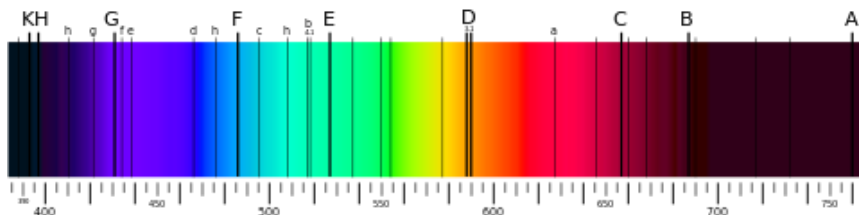
Caroline H



# Vitesse des étoiles



Observateur

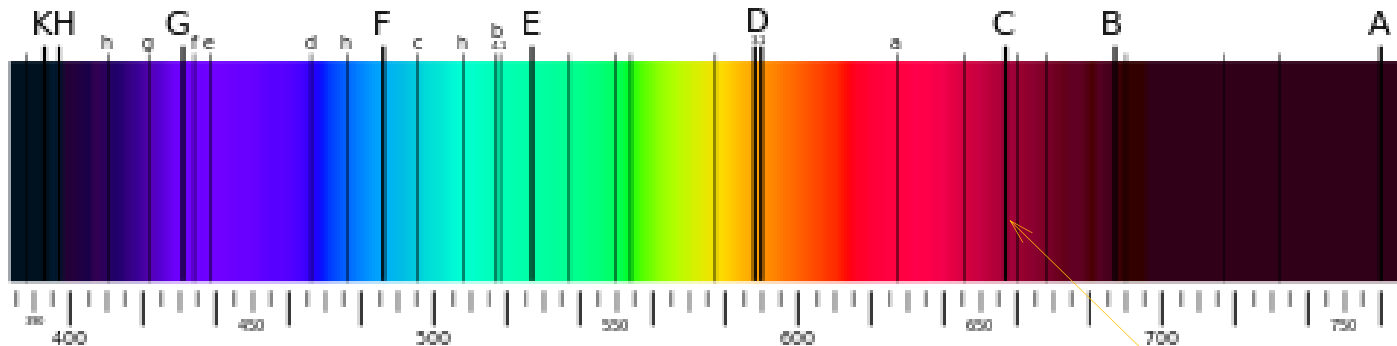


La mesure du décalage permet de mesurer la vitesse des étoiles.

Ce décalage s'appelle le **Redshift**  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$

# Vitesse des étoiles

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$



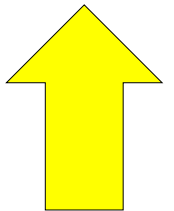
Raie H $\alpha$  : 656 nm

Exemples :

Si on mesure la raie H $\alpha$  à 662 nm, le décalage est de 662 - 656 = +6 nm vers la droite.

Le rapport  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$  vaut 6 / 656 = +0,009. Le signe + signifie que l'étoile s'éloigne (vers le rouge).

La vitesse de l'étoile est 9/1000<sup>ème</sup> de la vitesse de la lumière, soit environ 2 700 km/s.



Si on mesure la raie H $\alpha$  à 646 nm, le décalage est de 646 - 656 = -10 nm vers la gauche.

Le rapport  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$  vaut -10 / 656 = -0,015. Le signe - signifie que l'étoile se rapproche (vers le bleu).

La vitesse de l'étoile est 15/1000<sup>ème</sup> de la vitesse de la lumière, soit environ -4 500 km/s (dans notre direction).



# Constante de Hubble



En 1929, Edwin Hubble démontre qu'il existe une relation de proportionnalité entre la vitesse d'éloignement des galaxies et leur distance.

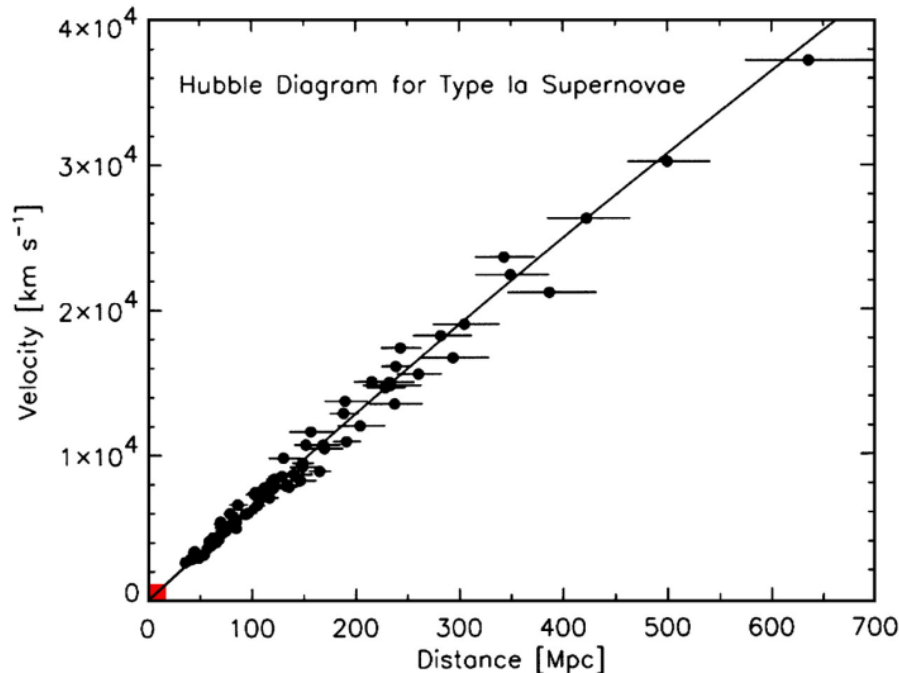
$$v = H_0 D$$

$v$  est la vitesse d'éloignement d'une galaxie (en km/s)

$D$  est la distance de la galaxie (en Mpc)

$H_0$  est la constante de Hubble (en km/s.Mpc)

Hubble mesure la distance des étoiles pulsantes céphéides des galaxies, grâce à la relation Période/Luminosité d'**Henrietta Leavitt**. La vitesse d'éloignement est mesurée grâce au RedShift (décalage des spectres vers le rouge). Il obtient la courbe ci-dessous, linéaire.



Autrement dit, connaissant la distance d'une galaxie, on peut calculer sa vitesse d'éloignement.

Inversement, connaissant sa vitesse d'éloignement, on peut en déduire sa distance.

A condition de bien connaître la constante de Hubble  $H_0$  !

