

Penser le monde : trier, classer, normer

Stage d'ouverture culturelle
Observatoire de Paris, 16 janvier 2023

Noël Robichon

Penser

I. – Empl. intrans.

A. HIST. DE LA PHILOS. Exercer son esprit ; mettre en œuvre sa conscience.

B. PHILOS., lang. cour.

1. Former des idées ; concevoir par l'esprit, par l'intelligence.

2. Combiner, organiser des concepts, des idées, leur donner un sens ; p.ext. exercer son sens critique, son jugement, élaborer des systèmes intellectuels, des théories.

C. Avoir une opinion.

D. Synon. de réfléchir.

II.– Empl. trans. dir.

A. Penser qqn/qqc.

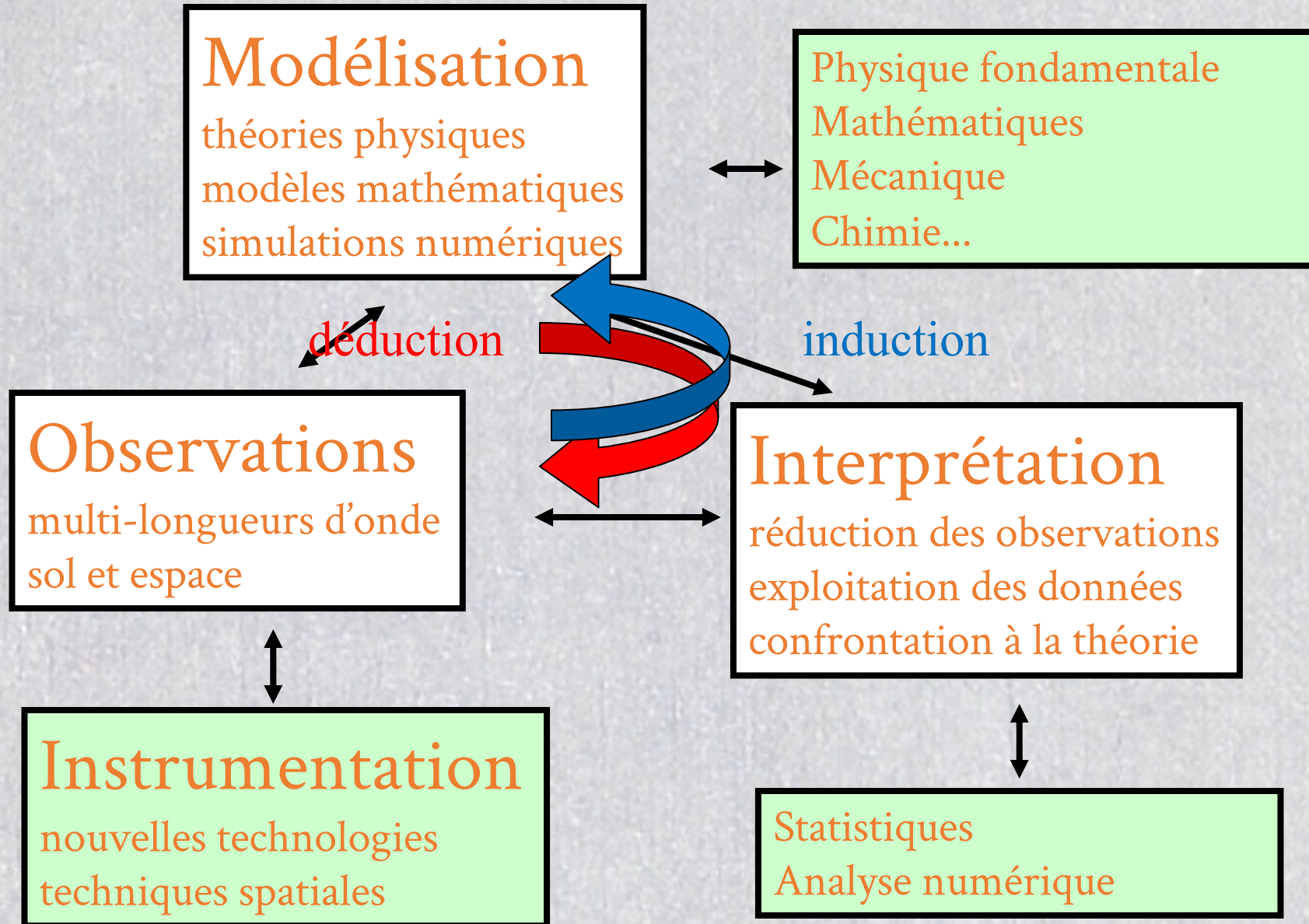
1. Synon. de concevoir.

a) [P. oppos. à *percevoir, sentir*] Surtout dans le domaine de la *réflexion*, de la *connaissance sc. et philos.*
Saisir par la pensée; former, construire l'idée d'un être ou d'une chose.

b) Penser un sujet, un projet... Y réfléchir profondément, s'en donner une représentation rationnelle.

2. Avoir pour jugement, pour opinion, pour conviction, pour avis.

La recherche en astronomie



Trier

A.– Séparer, dans un ensemble de choses, ce que l'on doit conserver de ce que l'on doit éliminer.

B.– Faire un choix dans un ensemble de choses de même nature, dans un ensemble de personnes, en mettant à part, en retenant.

C.– Répartir en plusieurs classes et selon certains critères, sans éliminer. -> Synonyme de classer

Le tri permet de définir des classes pertinentes d'objets ayant des caractéristiques communes

Classer

I. Ranger, distribuer dans des catégories distinctes selon des critères définis.

A.– Courant

1. Placer quelqu'un dans une catégorie selon des critères empiriques.
2. Distribuer, ranger méthodiquement selon un certain ordre, de manière à en faciliter la consultation. Classer des archives, des auteurs, des dossiers, des fiches, des manuscrits.

B.– En partic. lang. sc. et techn.

1. Répartir des êtres ou des plantes en catégories selon des critères scientifiques.
2. Ranger dans une catégorie définie des phénomènes ou des éléments de même nature.

C.– [Avec une idée d'irréversibilité] Ranger définitivement quelque chose.

II.– [Le suj. désigne habituellement une pers.]

A. Attribuer officiellement un rang, une place, selon le mérite ou la valeur, le rang étant exprimé ou suggéré par le contexte.

B.– Placer une chose sur une liste officielle en raison de sa valeur.

Norme

- A. État habituel, régulier, conforme à la majorité des cas.
- B. État régulier, le plus conforme à l'étalon posé comme naturel, et par rapport auquel tout ce qui dévie est considéré comme anormal.
- C. Règle, principe auquel on doit se référer pour juger ou agir.
 - 1. ART, SC., TECHNOL. Règle, loi dans un domaine artistique, scientifique, technique ; conditions que doit respecter une réalisation ; prescription qu'il convient de suivre dans l'étude d'une science, la pratique d'une activité, d'un art.
 - 2. DR. Règle juridique, disposition constitutionnelle.
 - 3. PSYCHOL. SOC. Règles, prescriptions, principes de conduite, de pensée, imposés par la société, la morale, qui constituent l'idéal sur lequel on doit régler son existence sous peine de sanctions plus ou moins diffuses.
- D. MATH. Norme (d'un vecteur).

Contexte astronomique

- **Penser** : fondement de la recherche
- **Trier** :
 - première étape, chercher les ressemblances/différences entre les astres
 - définir des classes, choix des paramètres, des variables
 - définir les caractéristiques précises d'une classe d'objets
- **Classer** :
 - Répartir les objets, les astres, dans les différentes classes.
- Trier/classer est un processus qui évolue avec les moyens d'observation
- **Normer** : La norme intervient plutôt dans la méthode utilisée qui doit remplir les critères d'une recherche scientifique : explicitation des méthodes d'analyse, publication ouverte, relecture par les pairs...
- **But** :
 - Analyser ce qui différencie les classes entre elles
 - But : comprendre la formation, l'évolution des objets, les liens entre les différentes classes.
- Un classement n'a d'intérêt que s'il permet de comprendre mieux la nature, le fonctionnement des objets
- Remarque : le tri doit être précédé d'une phase de catalogage qui serait un sujet à lui seul.

Constellations

- Pour **se repérer** dans le ciel, il faut nommer ses différentes parties du ciel.
- Les étoiles n'ont **pas toutes la même magnitude**. Les étoiles les plus brillantes sont regroupées au sein de **figures imaginaires** appelées **constellations** qui sont des **regroupements fortuits** d'étoiles.
- Vers -550 : les Grecs nomment les constellations de l'hémisphère nord sur une base égypto-babylonienne.
- Les constellations du **ciel boréal** tirent leur noms de la **mythologie grecque et romaine** (48 constellations de Ptolémée) ou sont des rajouts postérieurs (Hévélius).
- Les constellations du **ciel austral** ont été définies entre la fin du **16^{ème} siècle** (Bayer dans l'Uranométrie 1603, Plancius) et le **18^{ème} siècle** (Lacaille).
- La **liste définitive** a été arrêtée en **1930** par l'Union astronomique internationale (travaux d'Eugène Delporte)

Constellations

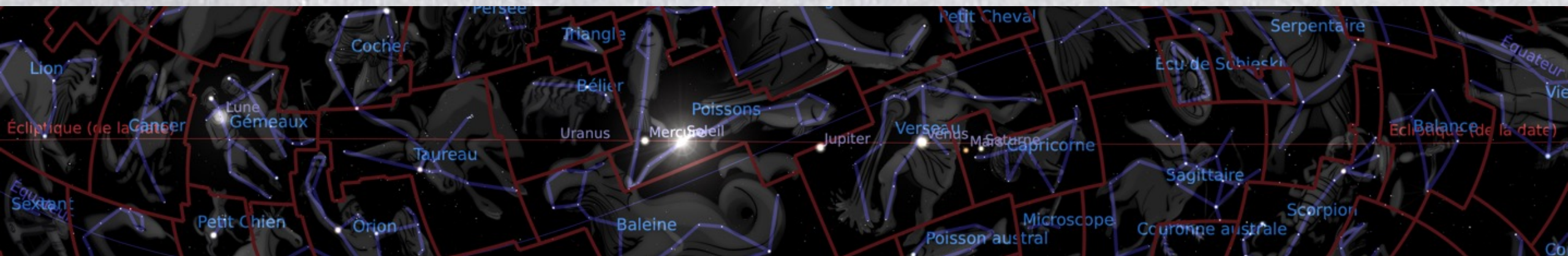
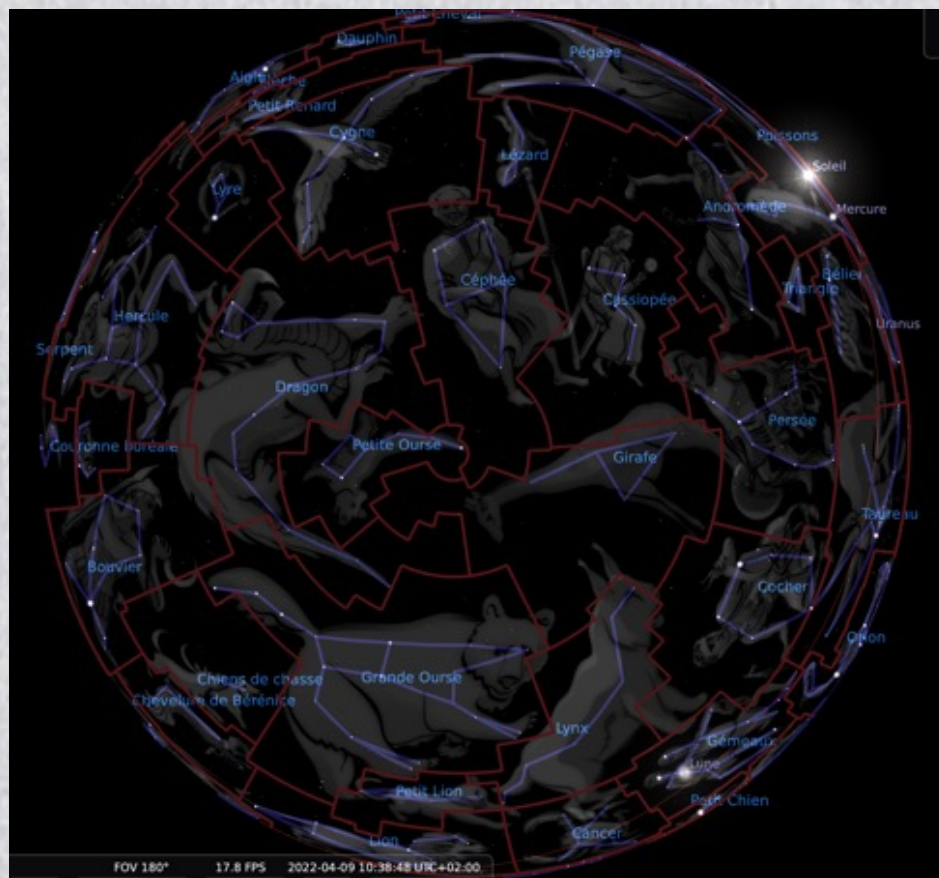


Atlas Harmonia Macrocosmica d'Andreas Cellarius 1661

Constellations

Découpage actuel du ciel en 88 constellations avec Stellarium

La terminologie scientifique actuelle est imprégnée de ce découpage, mais il n'a plus d'utilité scientifique



Noms des étoiles

- Antiquité : les astronomes nomment les étoiles d'après leur position dans la constellation à laquelle elles appartenaient.
- Moyen-âge, les **astronomes arabes** fixent le nom des étoiles les plus brillantes sur le même principe : Rigel dans la constellation d'Orion, qui était pour l'astronome grec Ptolémée « l'étoile la plus brillante du pied gauche en contact avec l'eau », signifie simplement « le pied » en arabe.
- **Johann Bayer** (1572-1625) numérote par luminosité décroissante en suivant l'alphabet grec puis l'alphabet latin suivi du génitif du nom latin de la constellation. Arcturus, l'étoile la plus brillante du Bouvier (Bootes en latin) = α Bootis (ou α Boo). Castor et Pollux = α et β Geminorum (α et β Gem).
- **John Flamsteed** (1646-1719) numérote dans chaque constellation par ascension droite croissante : 51 Peg.
- De nos jours, les étoiles sont nommées d'après leur numéros dans des catalogues spécifiques : Véga de la Lyre = α Lyr, GJ 721, HIP 91262, HD 172167, CCDM J18369+3847A, etc.

Magnitude des étoiles

Les étoiles ont de
couleurs et luminosités
variables

Magnitude des étoiles

- Antiquité : échelle des grandeurs d'Hipparque/Ptolémée : **les étoiles sont réparties en 6 grandeurs, ordres d'apparition à la tombée de la nuit.**
- **Pierre Bouguer** (1698-1758) en 1729 : la plus petite différence perceptible entre deux lumières ne dépend que du rapport de leurs intensités.
- **Carl August von Steinheil** (1801-1870) en 1836 :
les grandeurs des étoiles varient comme le logarithme des éclats.
- **Norman Robert Pogson** (1829-1891) en 1856 :
les étoiles de première grandeur sont 100 fois plus brillantes que les étoiles de sixième grandeur : **$m_1 - m_2 = -2,5 \log (L_1/L_2)$** , m_1 et m_2 **magnitudes** L_1 et L_2 luminosités. Loi de Pogson.
- Généralisé en 1859 par le philosophe **Gustav Theodor Fechner** (1801-1887) : la sensation varie comme le logarithme de l'excitation, non seulement en ce qui concerne la quantité de lumière, mais pour la plupart de stimuli accessibles à nos sens (pression sur la peau, intensité sonore, mesure de poids...). Loi de Bouguer-Weber ou Weber-Fechner

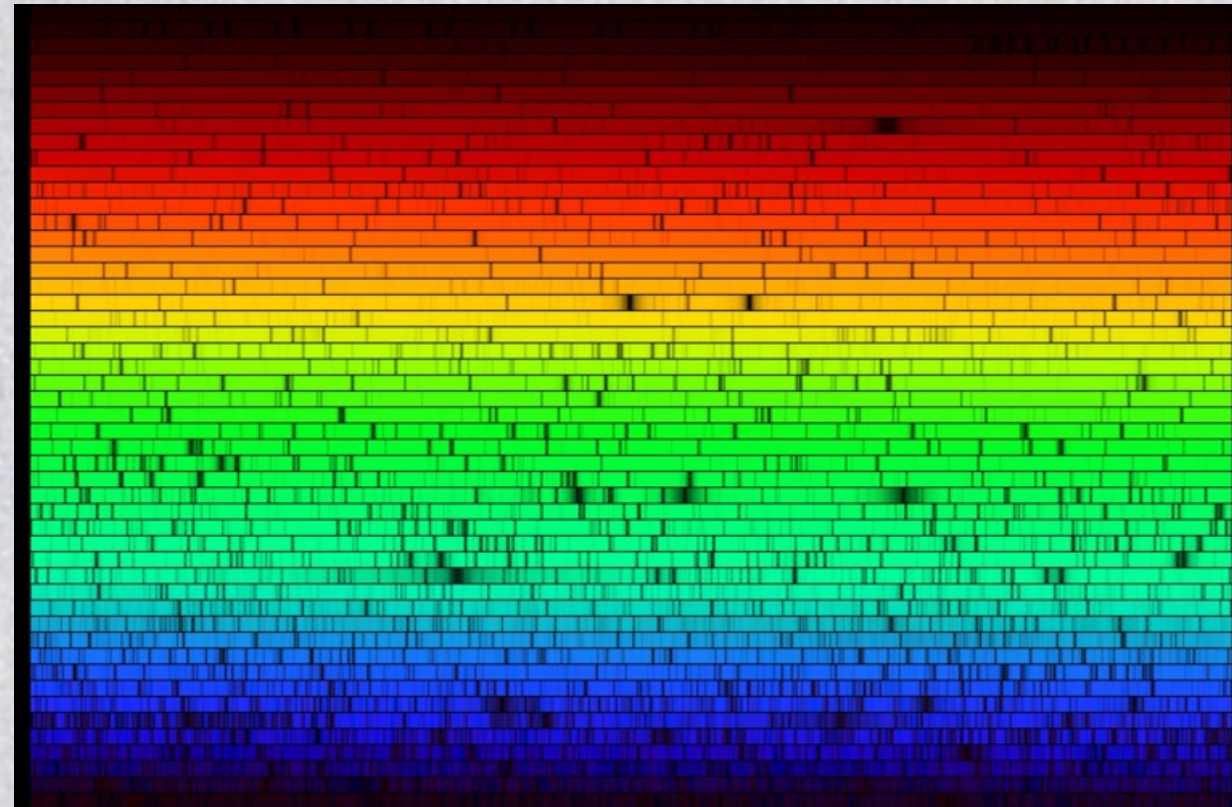
Évolution de l'instrumentation astronomiques

- Antiquité → 1609 : **observations visuelles**
- 1609 → XIX^e siècle (→ aujourd'hui) : **observations télescopiques**
→ grossissement, amplification
- XIX^e → mi XX^e : **photographie, photométrie, spectroscopie...**
→ physique des objets célestes, enregistrement
quantitatif → quantitatif
- mi XX^e → aujourd'hui **multi-longueur d'onde.**
- 1970 → aujourd'hui : **détecteurs électroniques**
→ accès à tous les phénomènes physiques
→ gains en sensibilité et précision

Spectre du Soleil



1814-17 Fraunhofer met au point le réseau, le spectroscope et décrit des raies d'absorption dans le spectre du soleil. Il nomme les principales raies de A à H



Spectre moderne

Lois de Kirchhoff 1859



Un objet chaud incandescent produit un spectre continu.

Gaz chaud



Un gaz chaud produit un spectre de raies d'émission

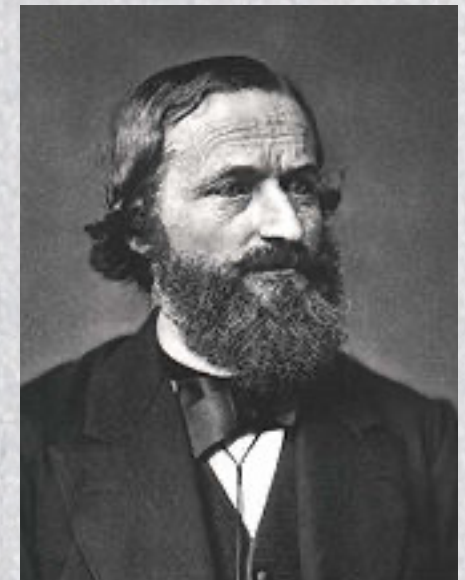
Gaz froid



Un objet chaud entouré d'un gaz froid produit un spectre continu auquel se superpose correspondent des raies d'absorption



Robert Bunsen
1811-1899



Gustav Kirchhoff 1824-
1887

Classification spectrale

Fig. 1. (1st type: Sirius, Vega, Altair, Regulus, etc.)

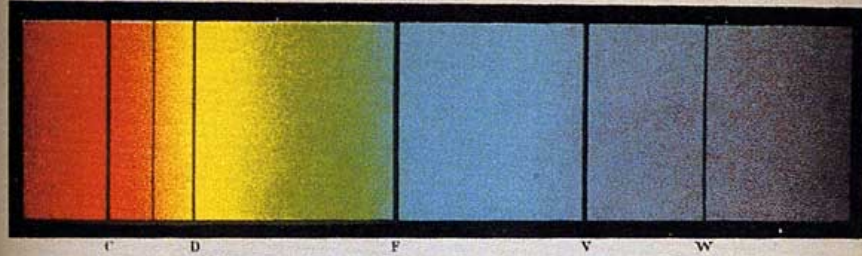


Fig. 2. (2nd type: Sun, Pollux, Arcturus, Procyon, etc.)

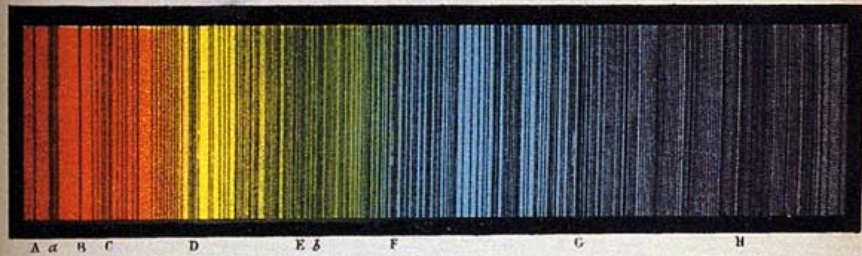


Fig. 3. (3rd type: α Hercules, β Pegasus, α of Orion, Antares, etc.)

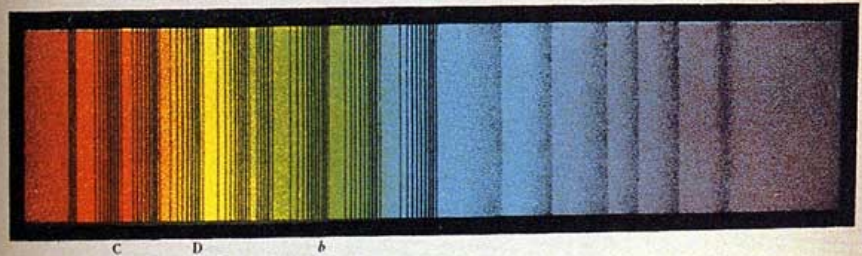
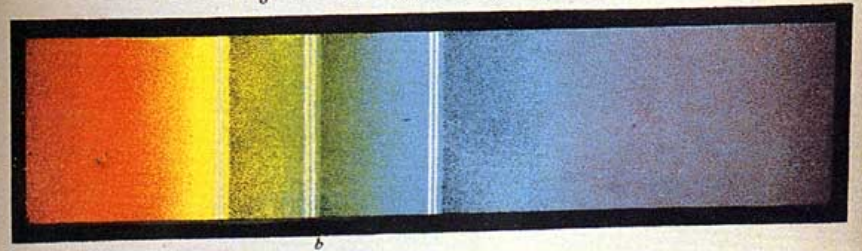


Fig. 4. (4th type: 15 σ of Schjellerup.)



1860 : invention de la **spectroscopie astronomique** dont William Huggins est le précurseur.

1863-1868 Angelo Secchi définit **quatre classes de spectres stellaires** en fonction de leur couleur à partir de l'analyse de plusieurs milliers de spectres, puis une cinquième classe en 1878 contenant les étoiles à raies d'émission.

1872 **première photo d'un spectre stellaire** (Véga) par Henry Draper et sa femme Anna Palmer Draper.

Une fois veuve, Anna Palmer Draper fait don des instruments de son mari et finance l'observatoire de Harvard.

Harvard Computers

Edward Charles Pickering directeur du Harvard College Observatory de de 1877 à 1919

Lassé de l'incompétence de ses aides masculin, il confie l'analyse des spectres à sa gouvernante Williamina Fleming. Devant le succès de son travail, il n'embauche plus que des femmes.



Pickering's Harem

Harvard Computers

Williamina Paton Stevens Fleming (1857-1911)

17 classes de A à Q à partir des 10351 spectres du Draper Memorial Catalogue par ordre décroissant d'intensité des raies d'hydrogène.



Antonia Maury (1866 - 1952)

Proposition d'une classification incluant l'intensité des raies d'hydrogène : de a étroites à c larges.

Propose de reclasser O, B, A par température décroissante en 1897.



Annie Jump Cannon (1863-1941)

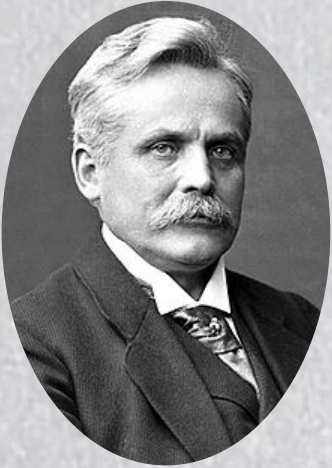
Réarrangement définitif des types spectraux en fonction de la température : OBAFGKM en 1901.

Elle aura classifié 395.000 étoiles entre 1911 et 1941 (225.300 entre 1911 et 1915).



Couleur et température : rayonnement du corps noir

- un corps noir est un corps qui absorbe tout le rayonnement qu'il reçoit et le réémet



Loi de Planck (1900) du rayonnement du corps noir

$$\frac{dF}{d\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{k\lambda T}\right) - 1}$$

Loi de Wien (1896) :

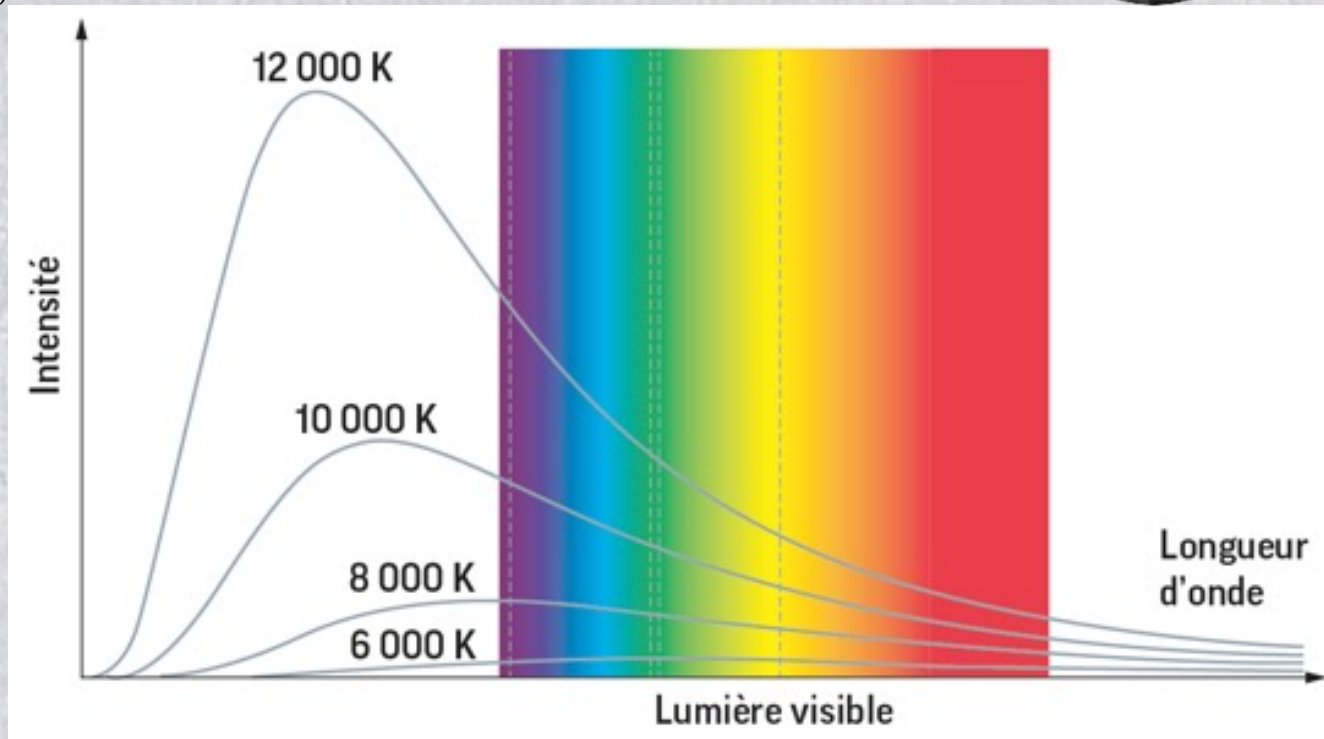
$$\lambda_{\max} T = \text{cte} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$$



Loi de Stefan (1879) :

$$F_{\text{tot}} = \sigma T^4$$

avec $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$



Modèle de Bohr de l'atome d'hydrogène 1913

- **Johannes Rydberg** 1890
- Les raies d'H suivent des séries de la forme :

$$\frac{1}{\lambda_{np}} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right)$$

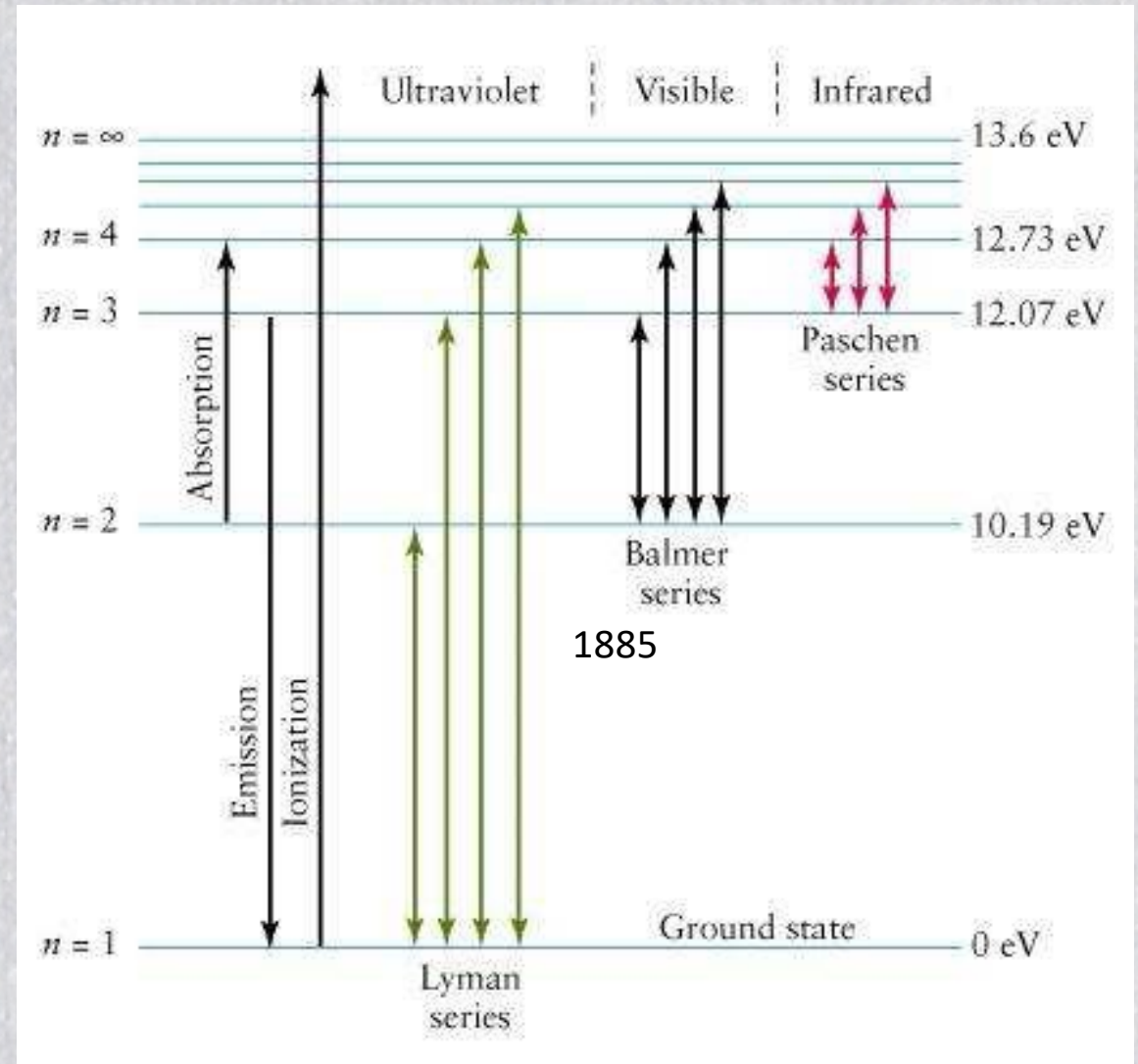
avec p entier et R constante de Rydberg

- Un seul électron :
- potentiel coulombien
- Seul atome avec une solution analytique de l'équation de Schrödinger
- En négligeant la structure fine, les différents niveaux d'énergie ne dépendent que de n :

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} = - \frac{me^2}{2n^2 \hbar^2}$$

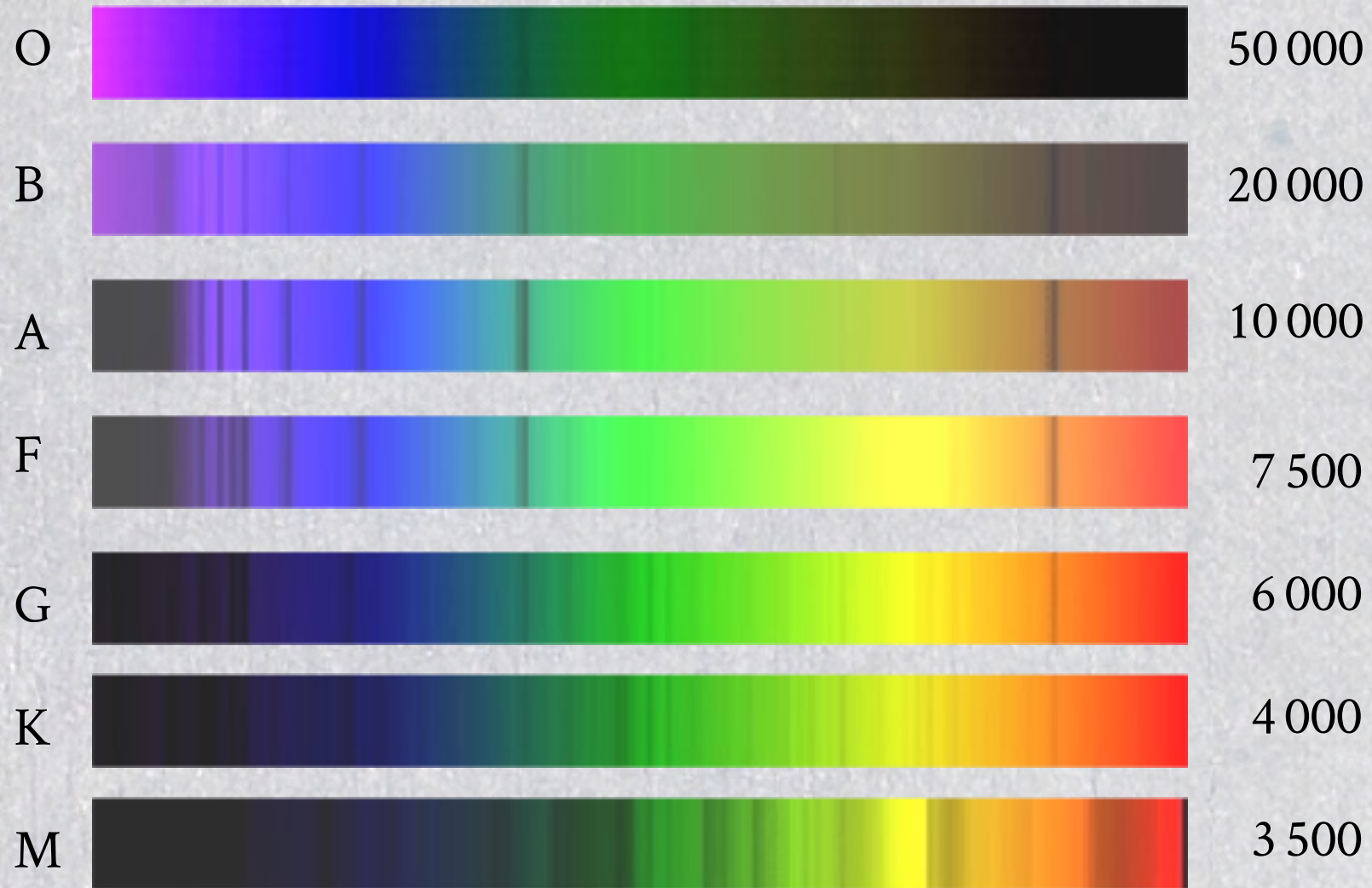
$$E \text{ (eV)} = 1240 / \lambda \text{ (nm)}$$

visible : 1,5 – 3,2 eV



Types spectraux

température (K)



Oh Be A Fine Girl (Guy) Kiss Me

Classe de luminosité

1897 **Antonia Maury** classification de l'intensité des raies d'hydrogène : de a étroites à c larges

1938-1943 **Morgan, Keenan and Kellman** à Yerkes publient un « Atlas of Stellar Spectra » incluant les types spectraux de Harvard et un second paramètre, basé sur la largeur des raies, appelé classe de luminosité et permettant d'estimer la taille des étoiles :

I (Ia+, Ia, Iab, Ib)	supergéante
II	géante lumineuse
III (IIIa, IIIab, IIIb)	géante normale
IV	sous-géante
V	étoile de la séquence principale ou étoile naine
sd4 ou VI	sous-naine
D4, wd ou VII	naine blanche

Classification MKK

Parallaxe annuelle

Friedrich Wilhelm Bessel (1784 -1846)

Commence le 18 août 1837, publication déc. 1838

Héliomètre 4 pouces de Königsburg (Fraunhofer)

61 Cygni, parallaxe précise à 10% près

Thomas Henderson (1798 –1844)

Troughton instrument au Cap

Deux mois après Bessel

α Centauri, parallaxe précise à 25% près

Friedrich Georg Wilhelm von Struve (1793 – 1864)

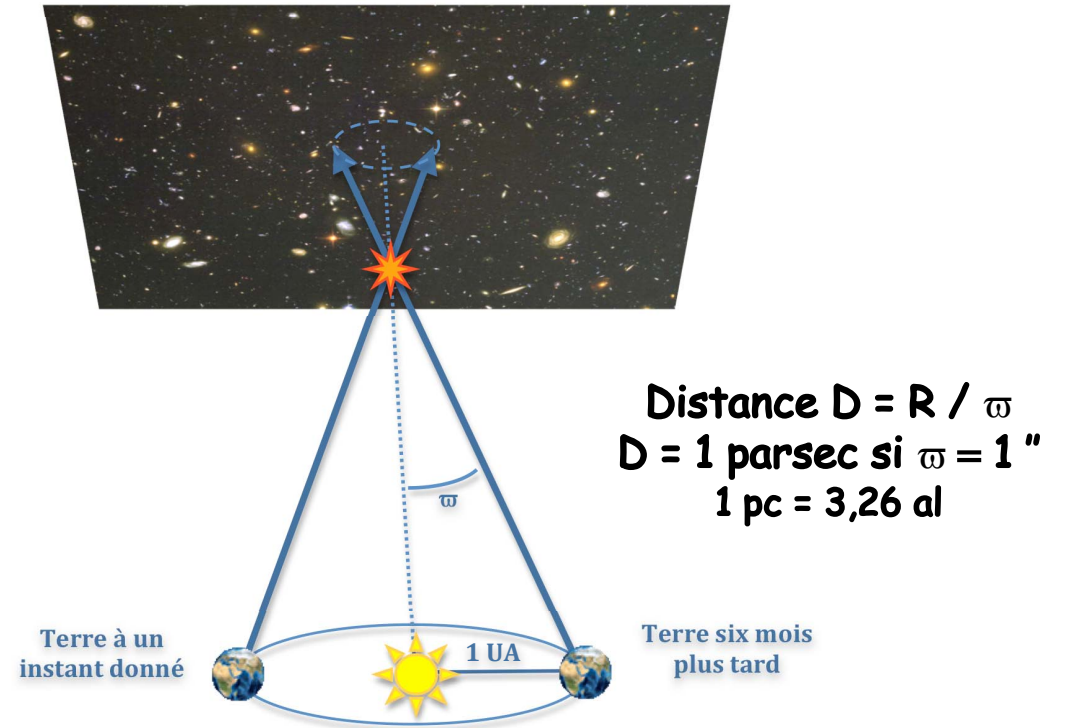
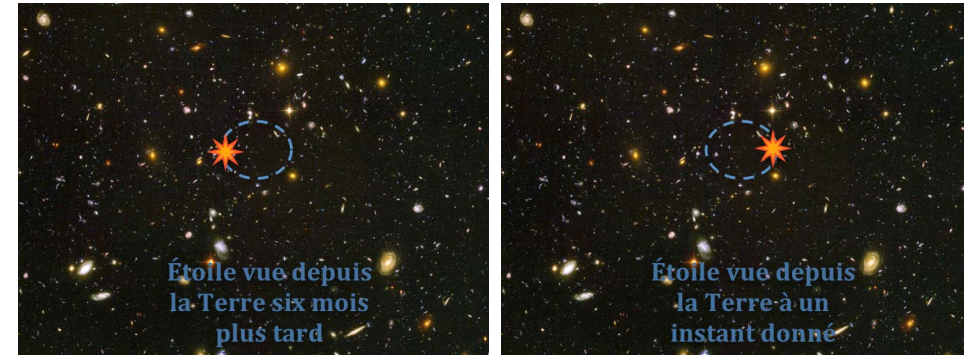
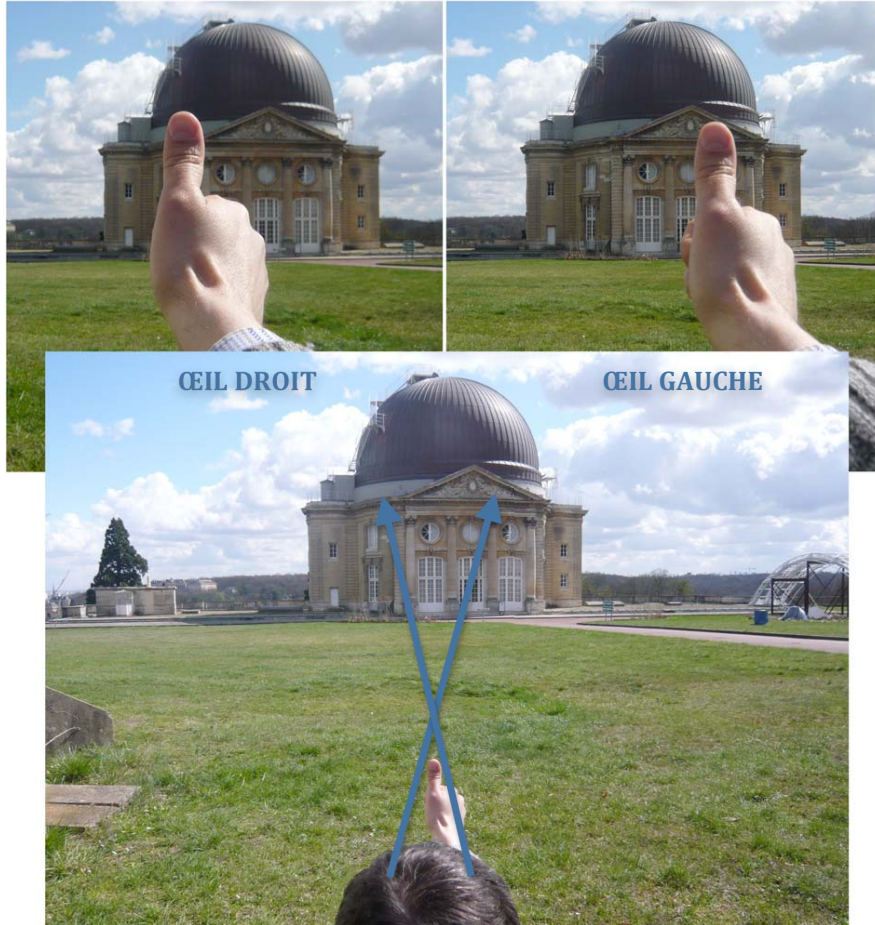
Lunette 9 pouces Dorpat (Fraunhofer)

1837 puis fin 1839

Vega, parallaxe en réalité 2 fois plus grande (correcte en 1837 !)



parallaxe trigonométrique



Magnitude apparente, magnitude absolue et distance

On définit la magnitude absolue d'un objet comme étant sa magnitude apparente à 10 pc.

$$M = -2,5 \log(L_{\text{apparente à 10 pc}}) + k$$

Comme le flux diminue comme le carré de la distance :

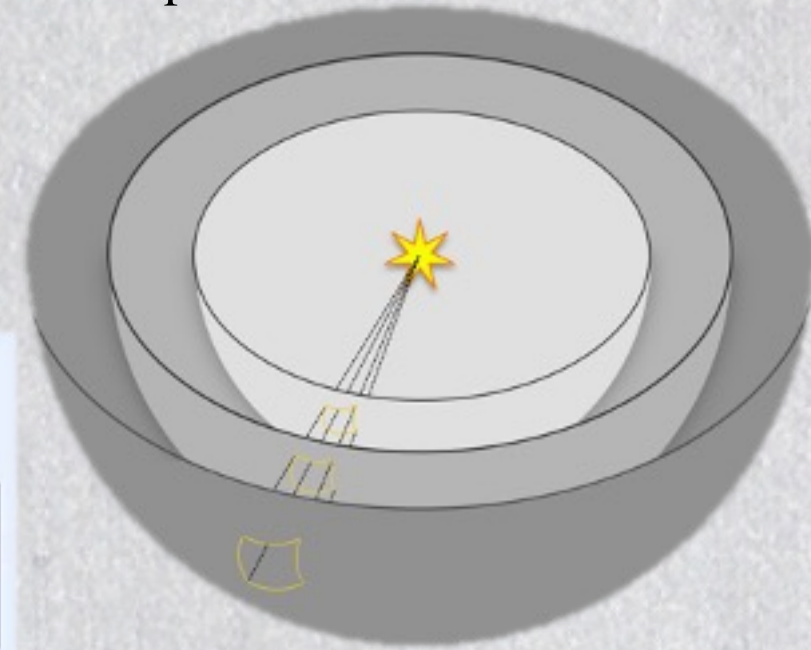
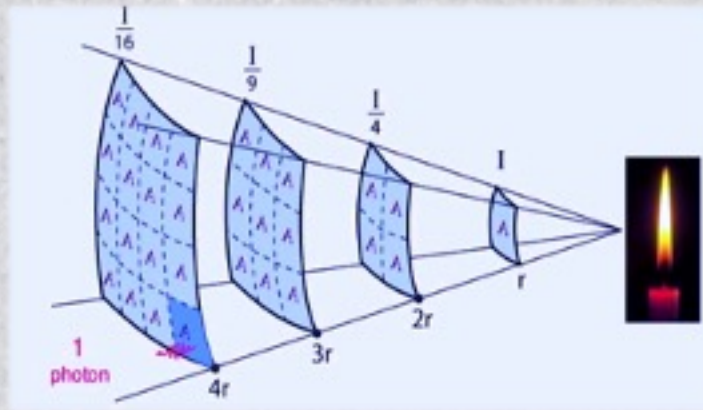
$$\text{Flux}(r) = \text{Luminosité} / 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

Et finalement :

$$L_{\text{apparent}} / L_{\text{apparente à 10 pc}} = (10 \text{ pc} / D)^2$$

D'où : $m - M = 5 \log D - 5$ avec D en pc ou $M = m + 5 \log \varpi + 5$ avec ϖ en seconde

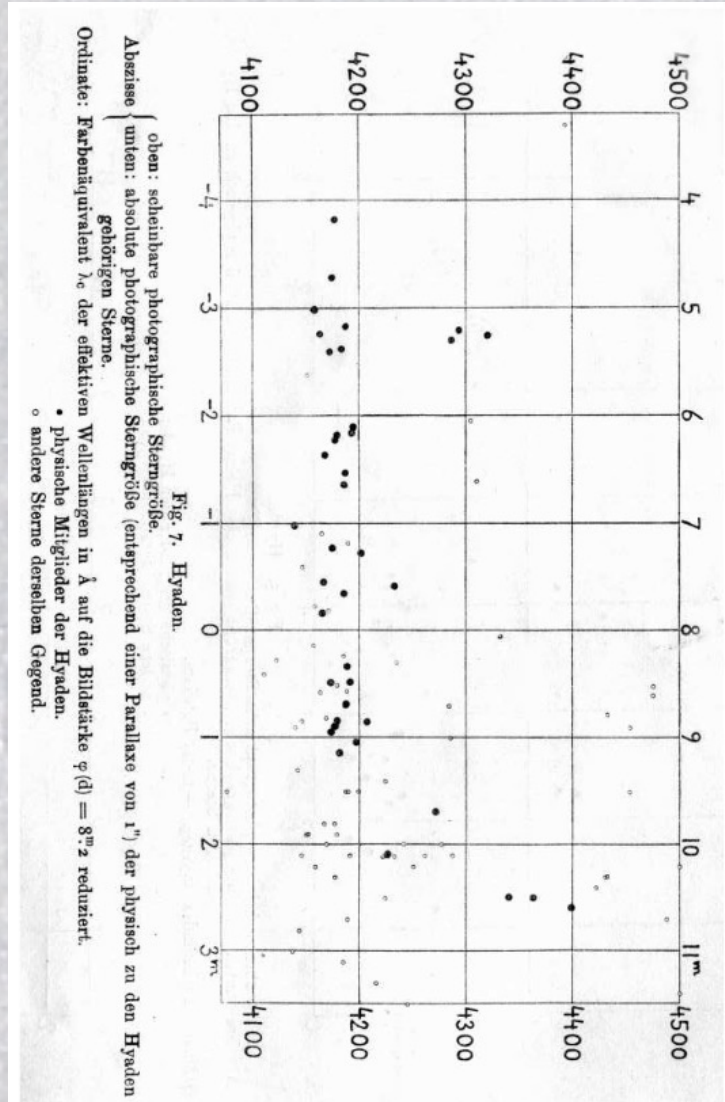
La mesure de la distance des étoiles permet de comparer leurs luminosités intrinsèques



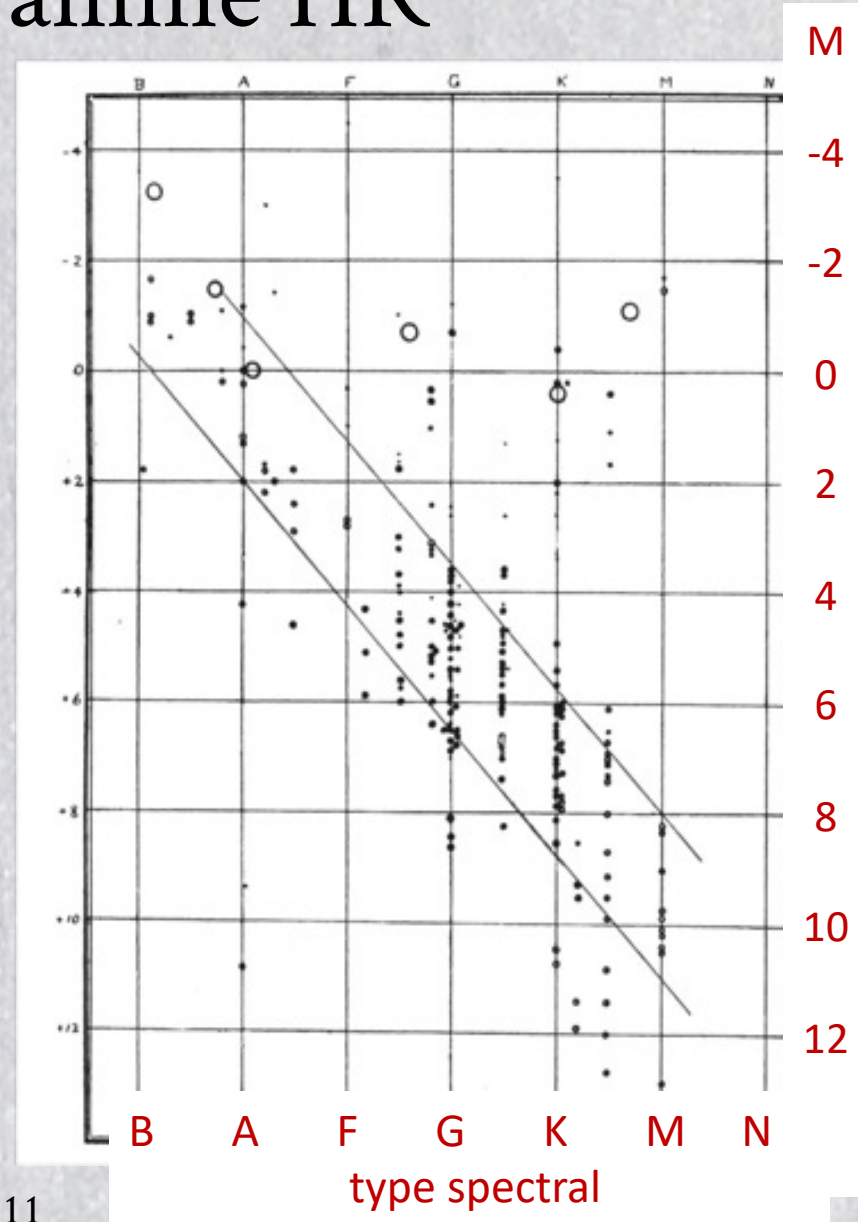
Le diagramme de Hertzsprung-Russell ou diagramme HR



Ejnar Hertzsprung
(1873-1967)



Publ. Astrophys. Observ. Potsdam 22, 1, 1911

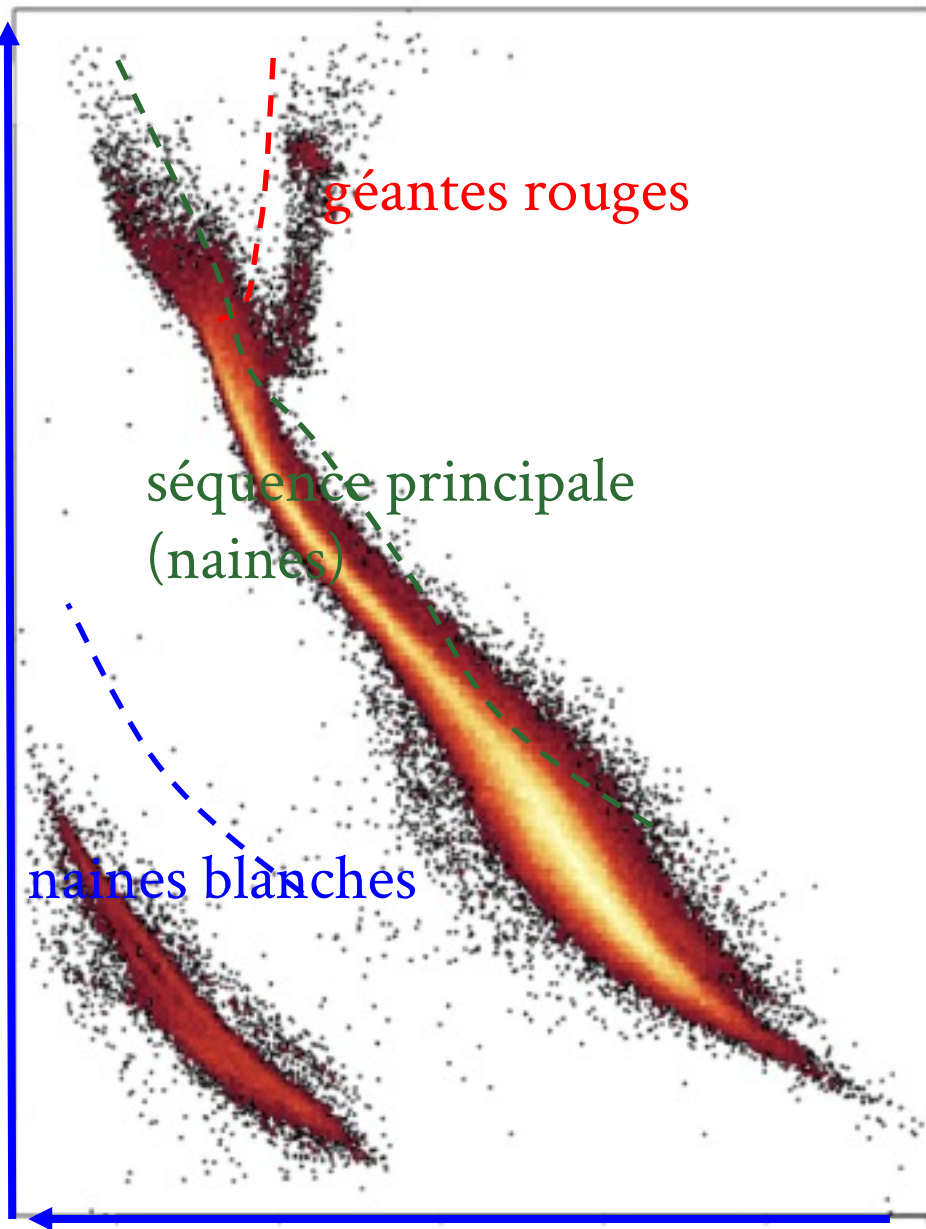


Henry Norris Russell
(1877-1957)

Russell
Nature, 93, 252 (1914)

Le diagramme de Hertzsprung-Russel ou diagramme HR

luminosité croissante



géantes rouges

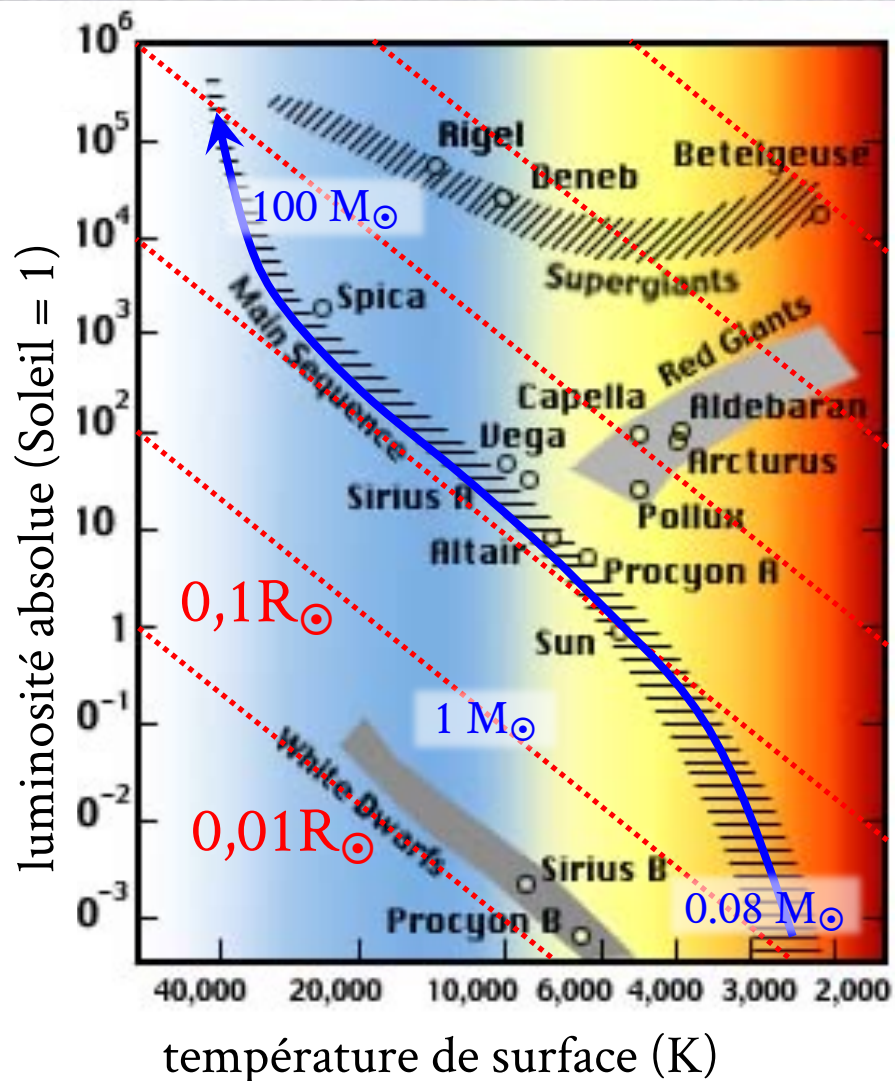
séquence principale
(naines)

naines blanches

température croissante

- Luminosité absolue en fonction de la température de l'atmosphère
- Les étoiles se répartissent selon des séquences dans le diagramme.
- diagramme HR des 212 728 étoiles Gaia ayant une parallaxe trigonométrique plus grande que 10 millièmes de seconde de degré.

diagramme HR d'étoiles brillantes



$1000 R_{\odot}$

$100 R_{\odot}$

$10 R_{\odot}$

$1 R_{\odot}$

Connaissant la distance d'une étoile, sa magnitude apparente et sa température, il est possible de la placer sur le diagramme HR

En supposant que l'étoile rayonne comme un corps noir, sa luminosité est :

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

$$\text{ou } \log L = 2 \log R + 4 \log T + \text{cte}$$

Les lignes d'égal rayon sont donc des droites sur le diagramme HR

1912 : Russel à partir de masses d'étoiles binaires

$$0.08 M_{\odot} < M_* < 100 M_{\odot} (?)$$

$$\text{qq} 0,01 R_{\odot} < R_* < \text{qq} 1000 R_{\odot}$$

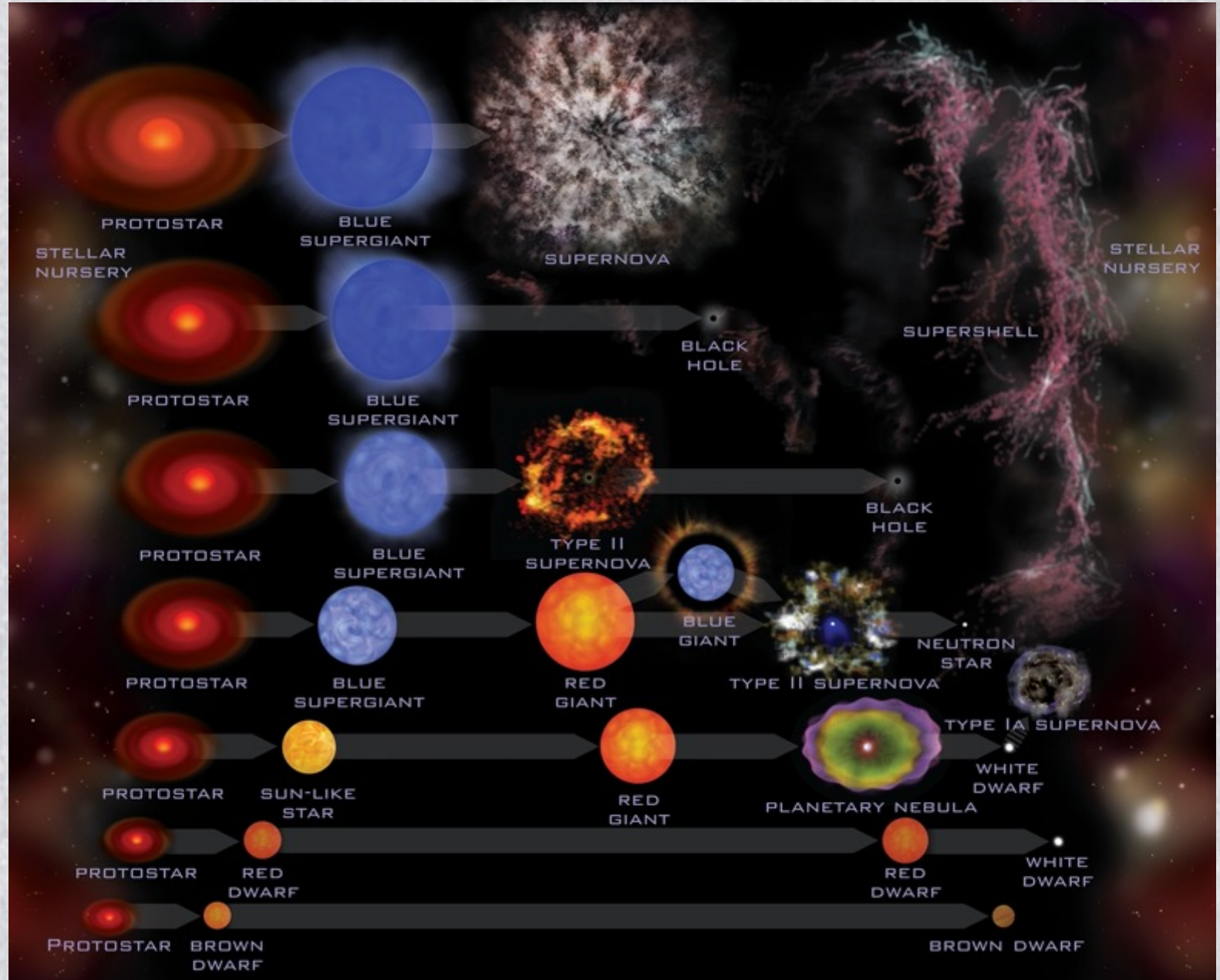
$$\text{qq} 0,0001 L_{\odot} < L_* < \text{qq} 1.000.000 L_{\odot}$$

$$3000 \text{ K} < T_* < 50.000 \text{ K}$$

Les étoiles ont donc une grande variété de propriétés physique :

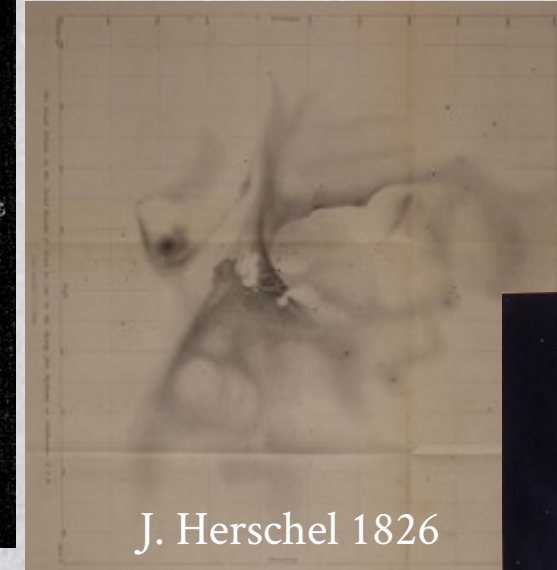
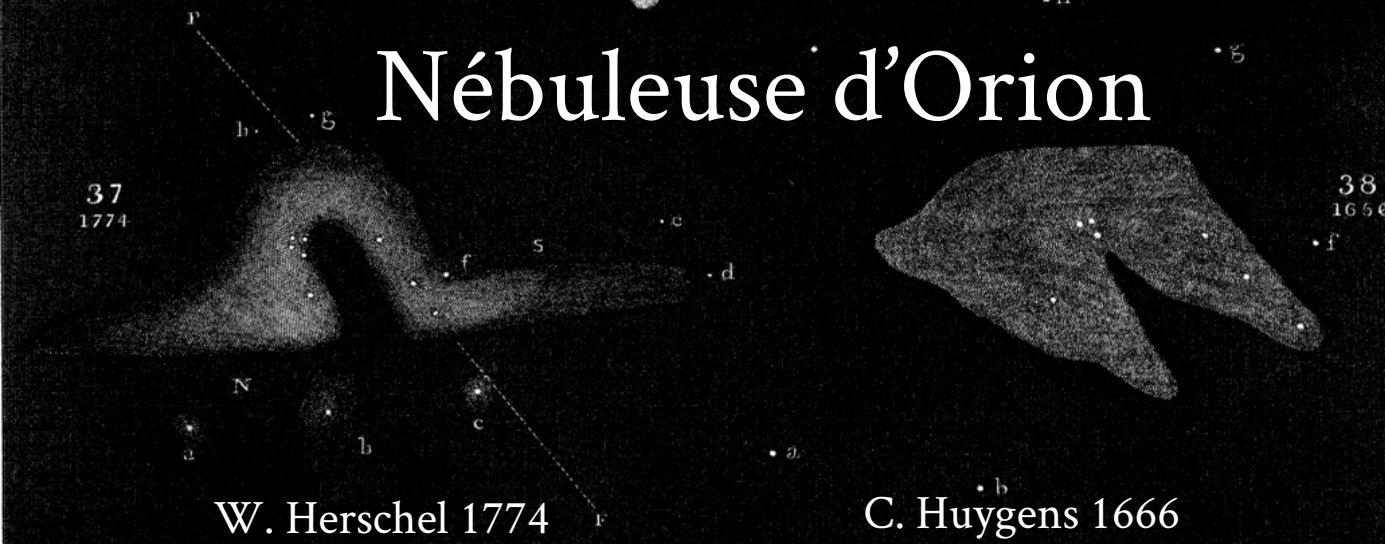
Évolution stellaire

L'évolution d'une étoile ne dépend (presque) que de sa masse initiale.



Les nébuleuses

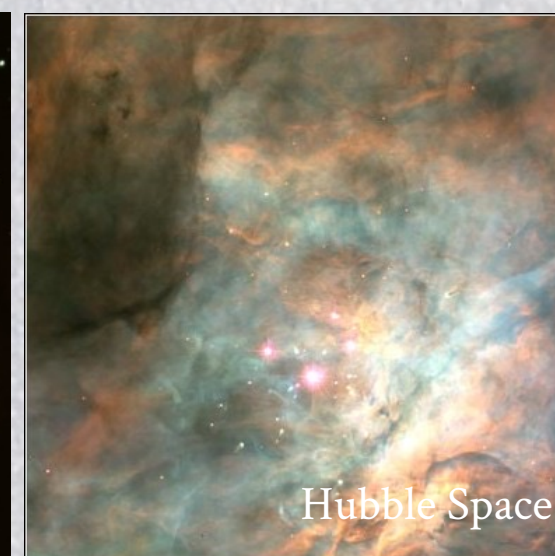
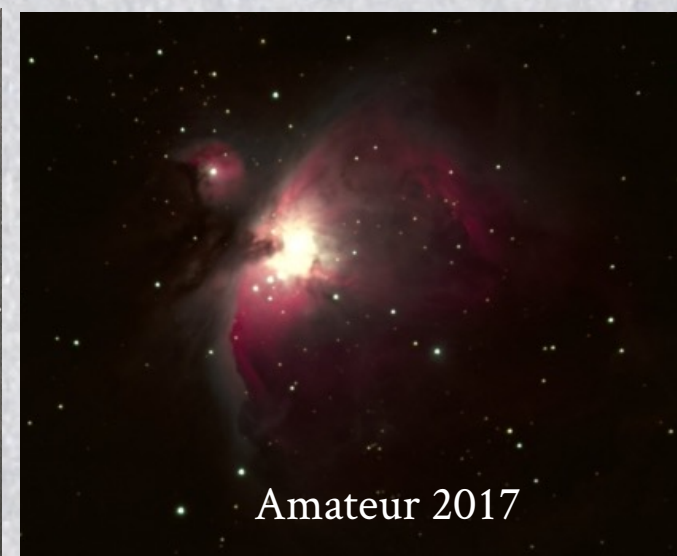
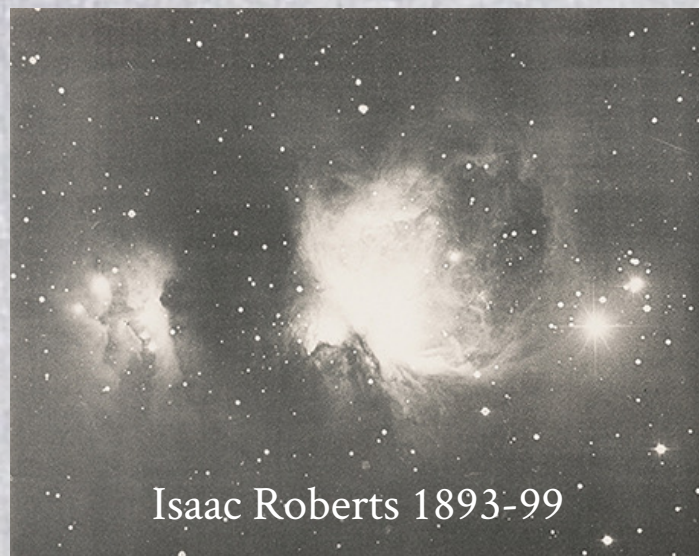
Nébuleuse d'Orion



Nébuleuse par réflexion découverte par Nicolas-Claude Fabri de Peiresc en 1610.

Il invente le mot nébuleuse à cette occasion !

Pouponnière d'étoiles. Amélioration continue de la connaissance de l'objet en fonction du perfectionnement des techniques : œil/photo, spectroscopie, photo/CCD, visible/IR

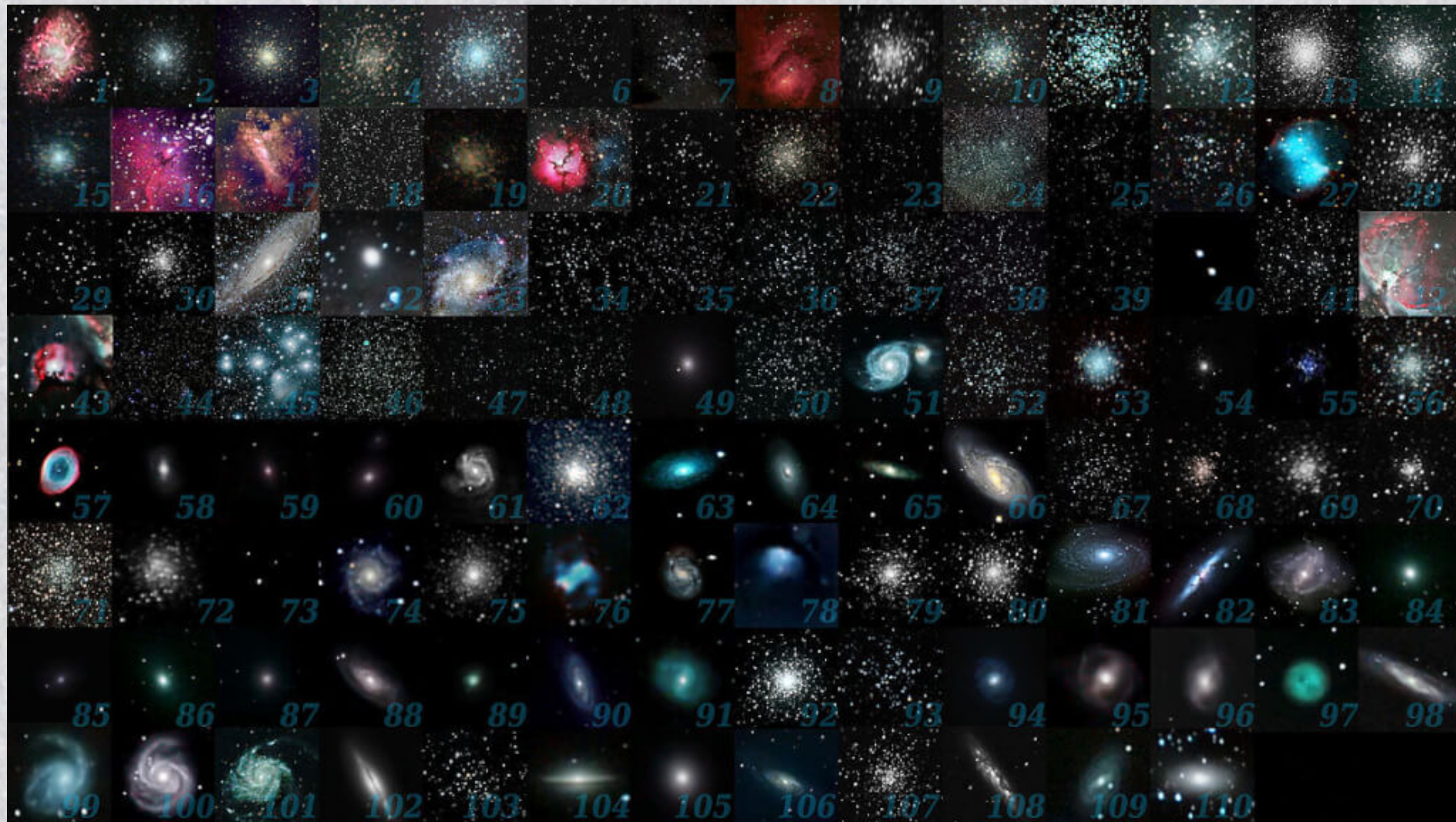


Nébuleuses de Messier

Charles Messier (1730-1817)



Messier est un spécialiste des comètes. Il repertorie pendant des années les nébuleuses dont il note la position et l'aspect dans un catalogue qui comptera 110 nébuleuses et portera son nom. Son but était de ne pas les confondre avec de nouvelles comètes !

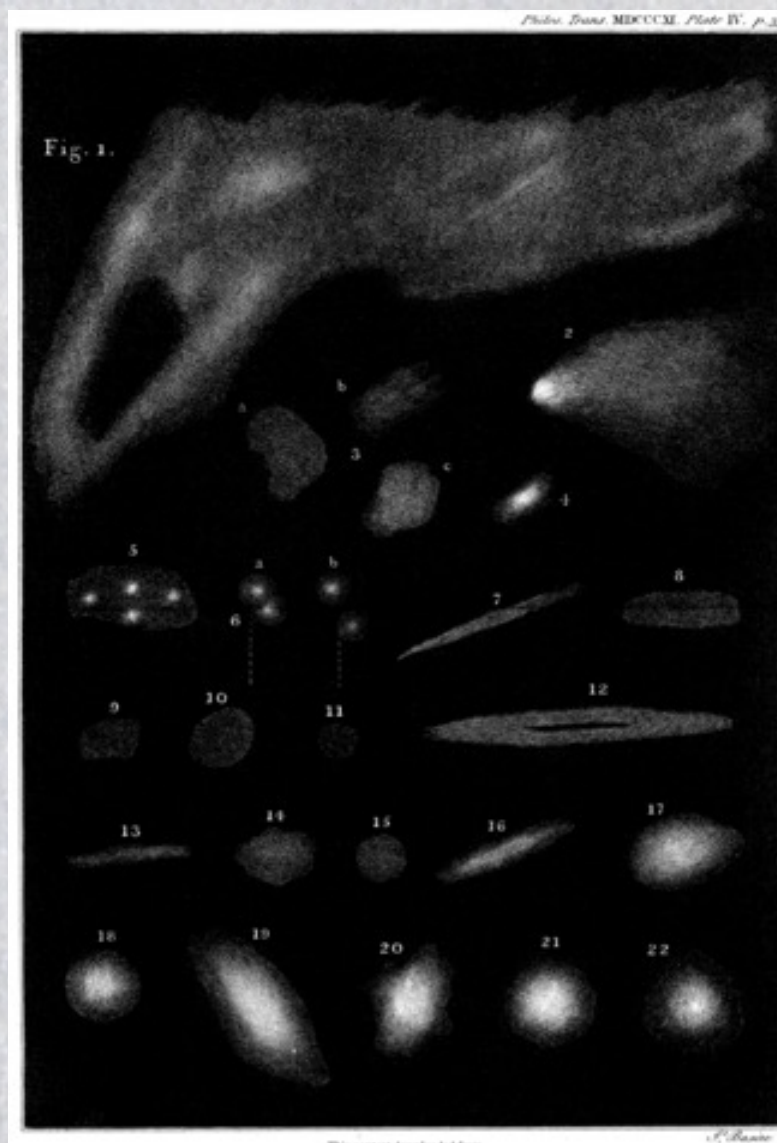


Les nébuleuses

Initialement, simple tache lumineuses, Herschel y voyait les différentes étapes de la formation d'une étoile à partir d'un nuage de gaz. Au contraire, Flammarion à la fin du XIX^e les considère toutes comme étant des amas, des « archipels » constitués d'étoiles non résolues à cause de leur éloignement.

William Herschel classe les nébuleuses en 12 classes (brillantes en plus d'un endroit, double, longue et étroites, étendues, irrégulières, globulaires, ..., planétaires). Son fils John prolonge et affine le travail de son père :

- Nébuleuses régulières définies par 5 paramètres divisés en 5 degrés : magnitude, luminosité, circularité, condensation, résolubilité.
- Nébuleuses irrégulières subdivisées en 7 classes, leurs magnitude et luminosité divisés en 5 degrés.
- amas d'étoiles

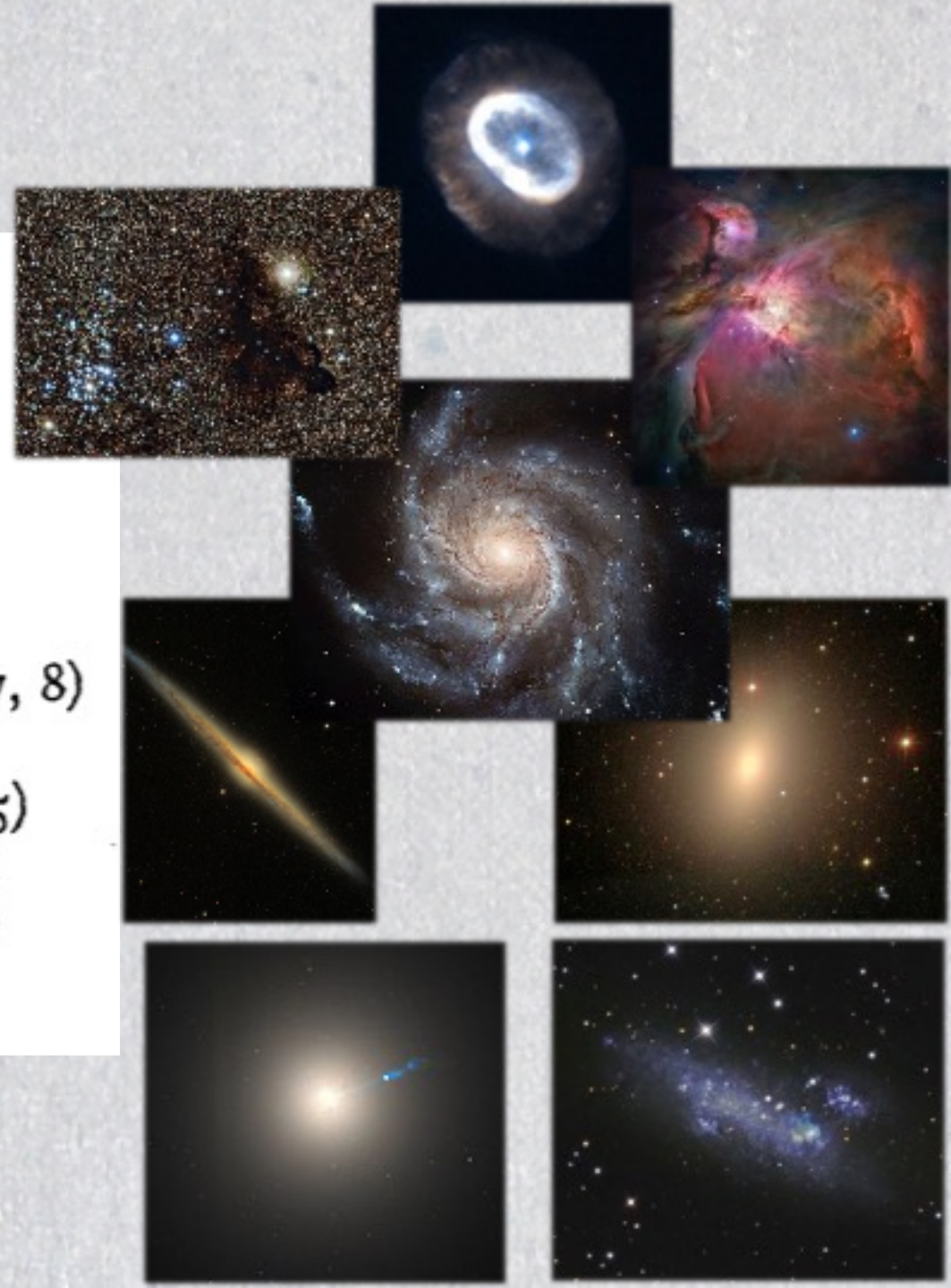


Dessins de nébuleuses 1811 par William Herschel.

Philosophical Transactions of the Royal Society of London
1811, Vol. 101 (1811), pp. 269-336

Classement de Hubble en 1922

	Examples
I. Galactic nebulae	
1. Planetary	N.G.C. 7662
2. Diffuse	
a) Luminous	N.G.C. 1976
b) Dark	Barnard 86
II. Non-galactic nebulae	
1. Spiral	M 101 (N.G.C. 5457, 8)
2. Elongated	
a) Spindle	HV 24 (N.G.C. 4565)
b) Ovate	M 59 (N.G.C. 4621)
3. Globular	M 87 (N.G.C. 4486)
4. Irregular	N.G.C. 2366



Hubble est un des premiers à démontrer la nature extragalactique des nébuleuses.

complexité du milieu interstellaire



Nébuleuse de la Carène 53 AL x 16 AL
<http://heritage.stsci.edu/2010/29/index.html>

Nébuleuses planétaires

1860 : invention de la **spectroscopie astronomique** dont William Huggins est le précurseur.

Les spectres des nébuleuses sont de deux natures :

- Ils ressemblent à ceux des étoiles : nébuleuses spirales, etc. (2/3 des nébuleuses)
- Ils présentent des raies d'émission trahissant leur nature gazeuse : nébuleuses planétaires, etc. (1/3 des nébuleuses)
- Huggins croit d'ailleurs découvrir un nouvel élément chimique dans le spectre des nébuleuses planétaires, le nébulium ! Les raies de cet « élément » s'avéreront être des raies d'oxygène ou d'azote impossible à réaliser dans les conditions terrestres de nos laboratoires...

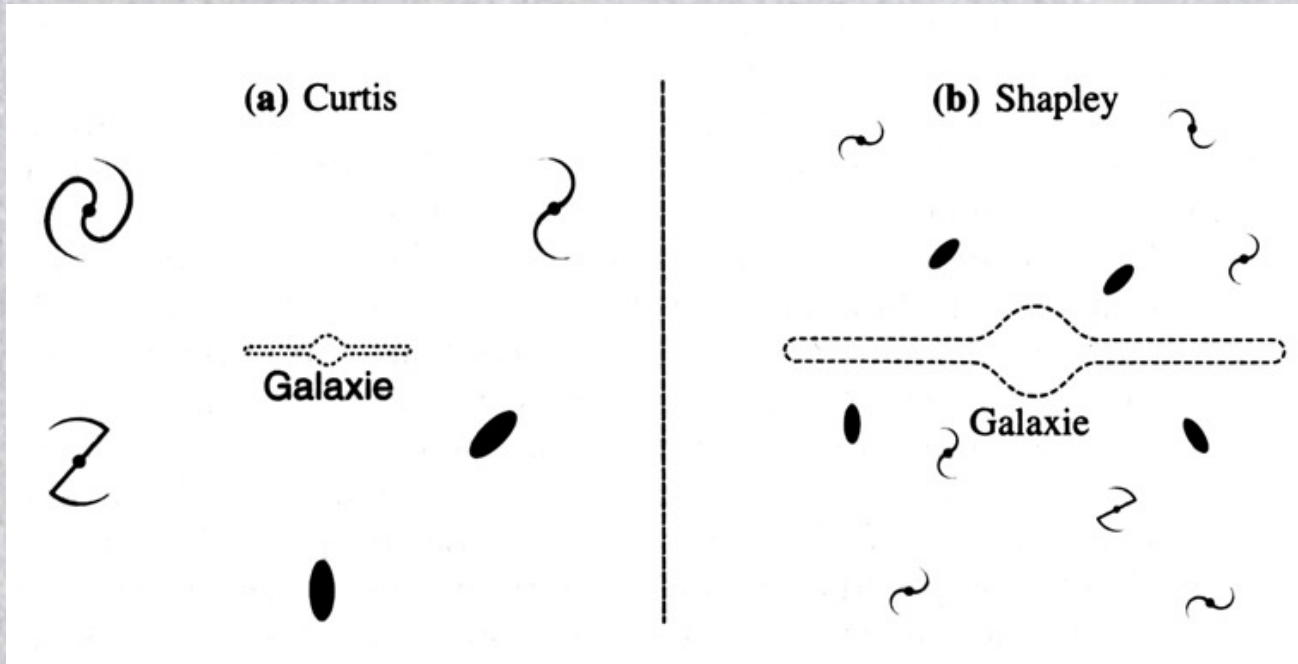
Au fur et à mesure de l'amélioration de l'imagerie, les nébuleuses planétaires sont à leur tour classées : sphériques, ellipsoïdales ou bipolaires voire à symétrie sphérique et avec/sans la présence de jets.

Mais le nom reste (les astronomes sont très conservateurs) !



Nébuleuses spirales

Grand débat du début en 1920 entre Harlow Shapley et Heber Doust Curtis : sont-ce des systèmes solaires ou amas en formation très proches ou bien, au contraire, des « univers-îles » semblable à notre Voie lactée et situés à des distances considérables ?



Le classement n'est pas obsolète. Simplement, les nébuleuses spirales deviennent des galaxies à part entière. fait d'avoir classer les nébuleuses



Harvard Computers 2, le retour

En 1908, elle étudie 1777 étoiles variables à partir de plaques photographiques dans les nuages de Magellan.

En 1912, à partir d'un ensemble de 25 céphéides, elle établit une relation entre la période et la luminosité de ces étoiles.

« A straight line can be readily drawn among each of the two series of points corresponding to to maxima and minima, thus showing that there is a simple relation between the brightness of the variables and their periods. »

Henrietta Swan Leavitt (1868-1921)

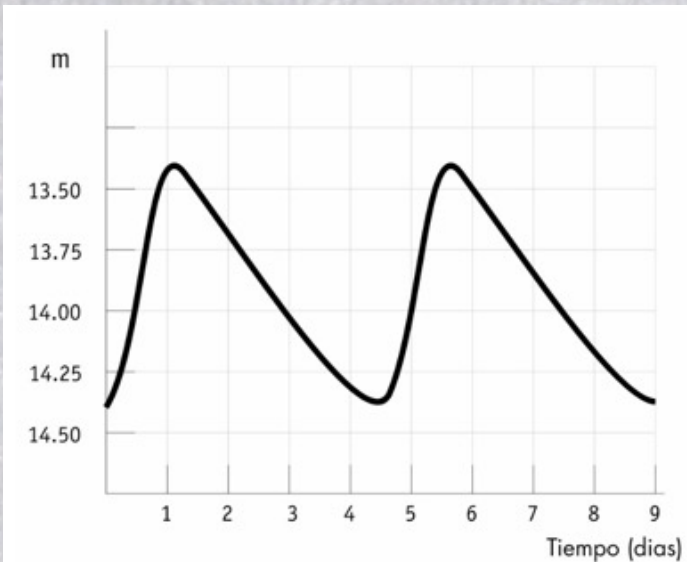


Figure 6 : La courbe de lumière caractéristique d'une Céphéide

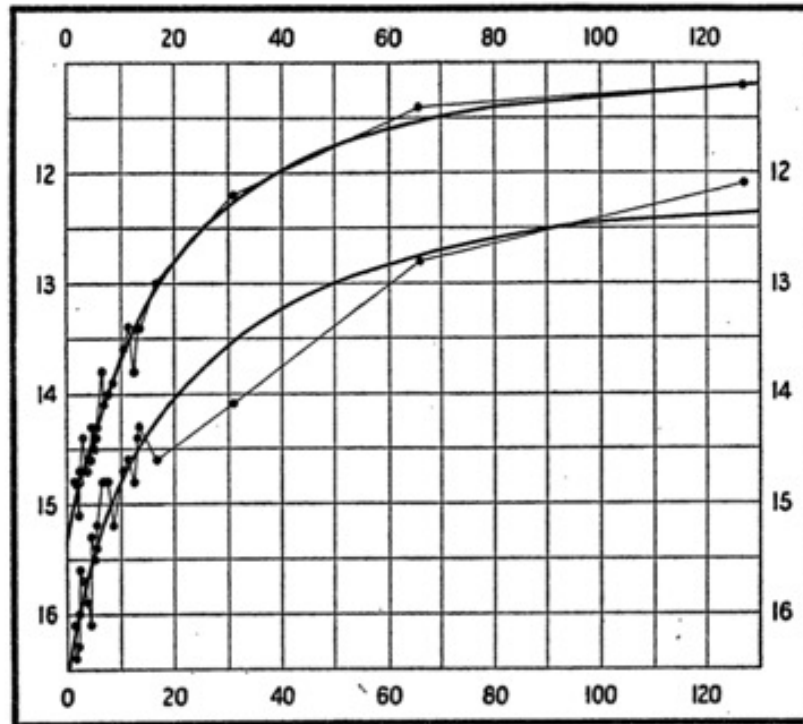


FIG. 1.

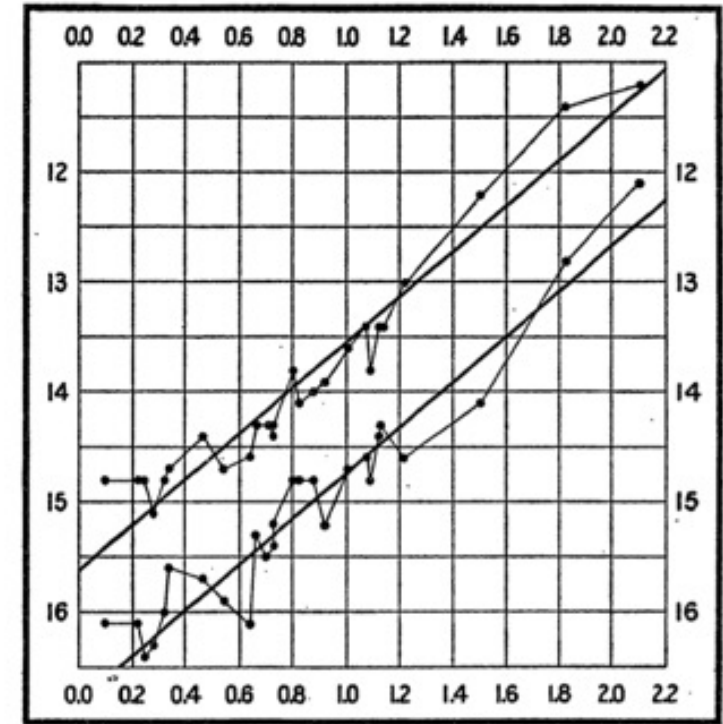
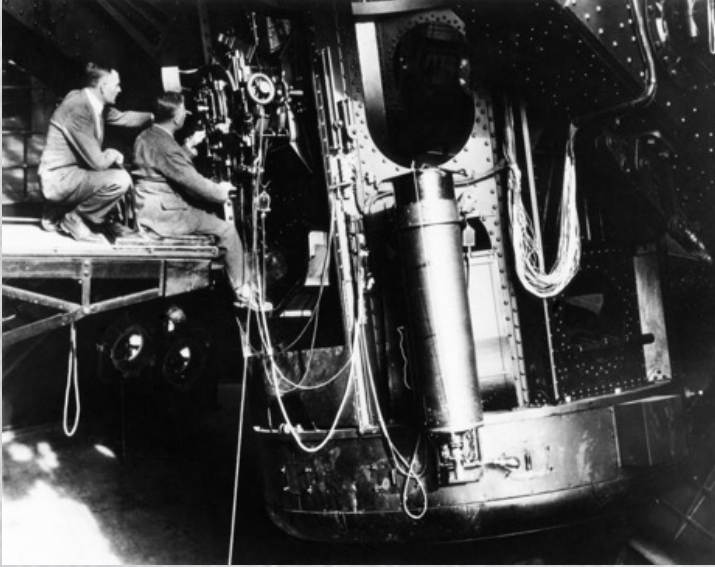
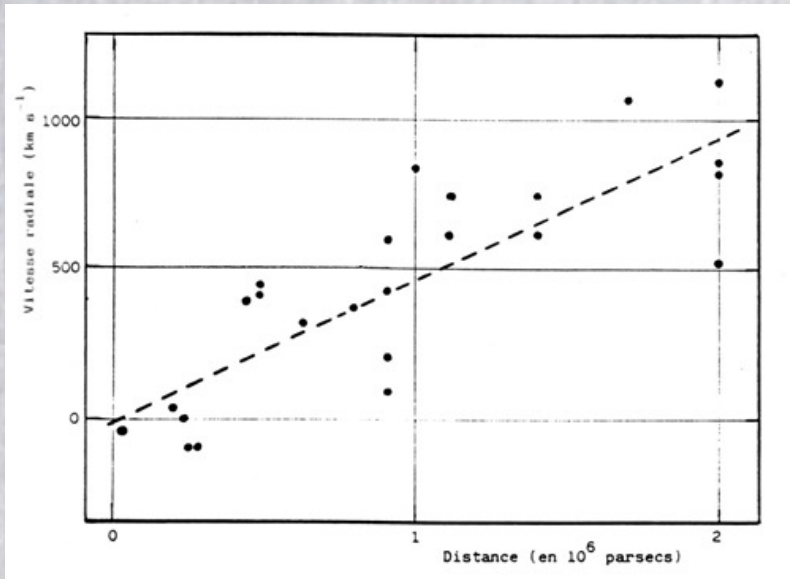


FIG. 2.

L'expansion de l'Univers



Edwin Hubble et James Jeans en train d'observer avec le télescope de 2,54 m du Mont Wilson.



La loi de Hubble-Lemaître découverte par Lemaître en 1924 et Hubble en 1929 à partir de 24 galaxies dont le spectre et la distance étaient connus grâce aux céphéides



Vesto Slipher observe le redshift des galaxies avec son spectrographe de la lunette de 24 pouces de l'observatoire Lowell

Quelques images de Galaxies



M31 ou galaxie d'Andromède

Galaxies spirales



spirales barrées



NGC 1365



NGC 986

Elliptiques et irrégulières



© Anglo-Australian Observatory

Messier 87

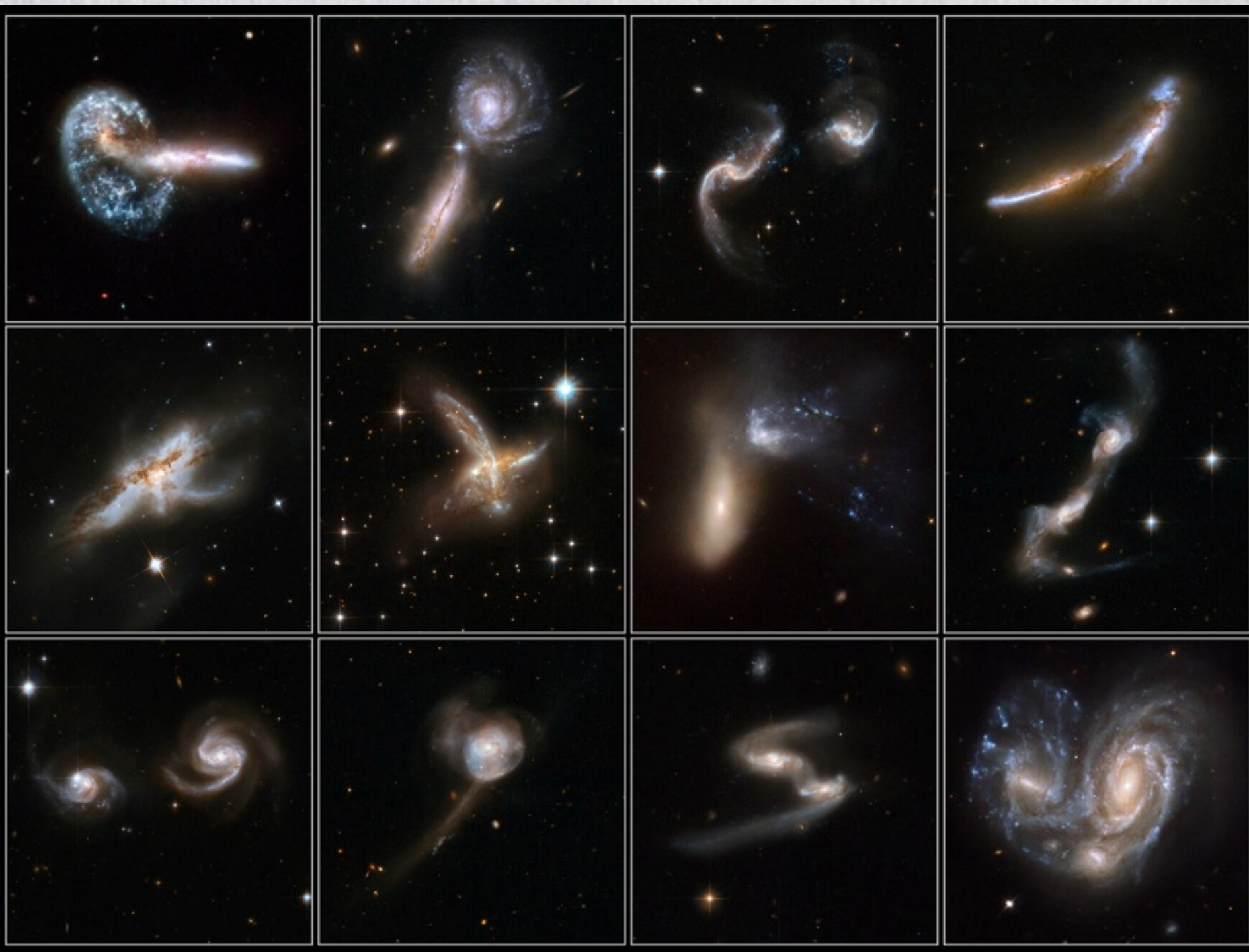


le grand nuage de Magellan

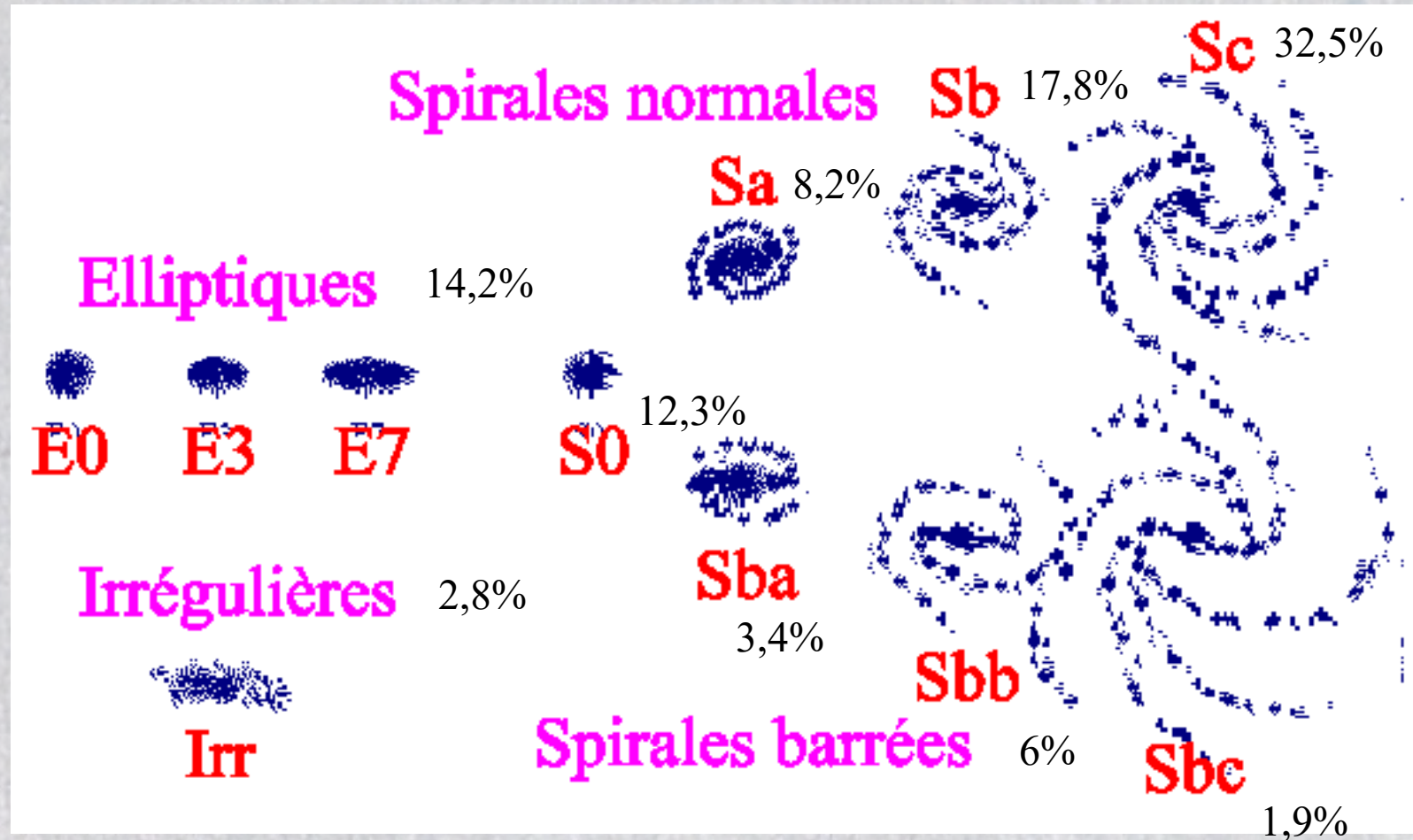
© Anglo-Australian Observatory/Royal Observatory, Edinburgh

Galaxies en interaction

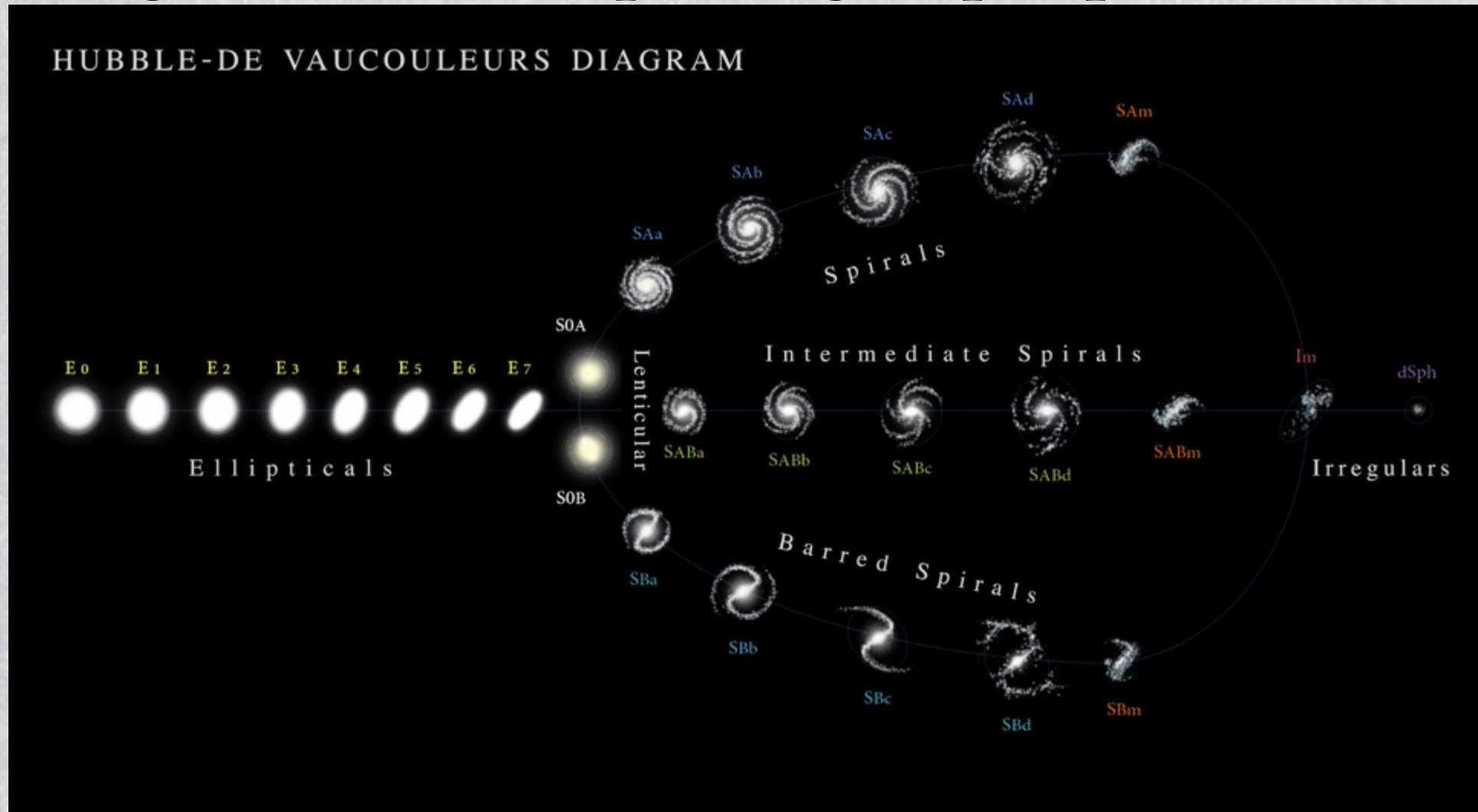
mosaïque
d'images du
télescope spatial
Hubble



les galaxies : morphologie, propriétés



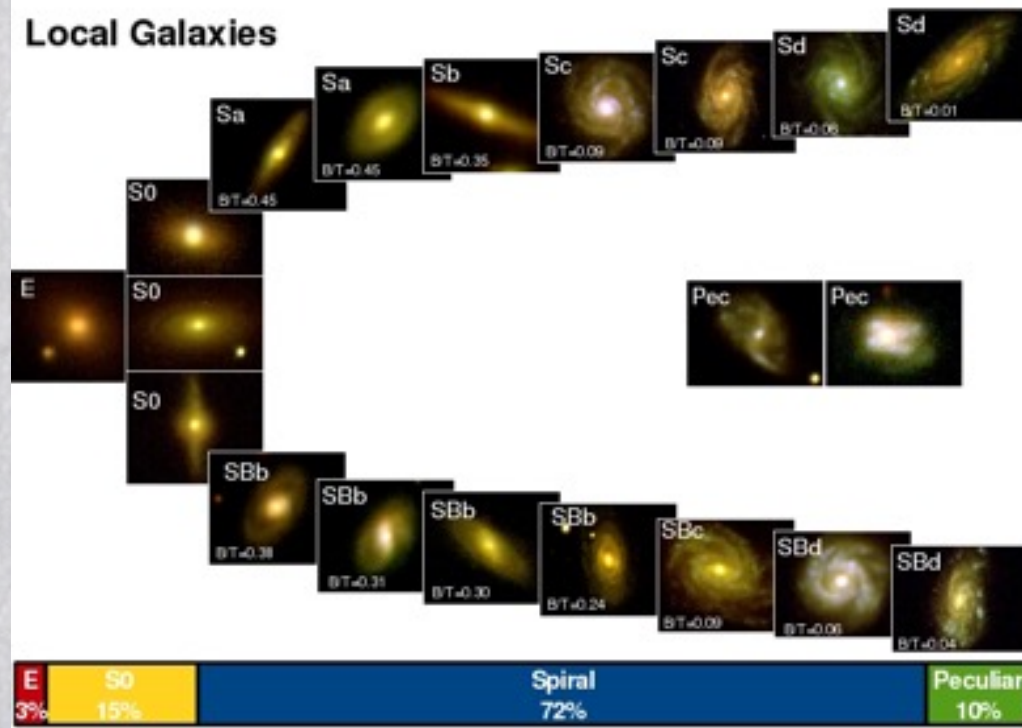
les galaxies : morphologie, propriétés



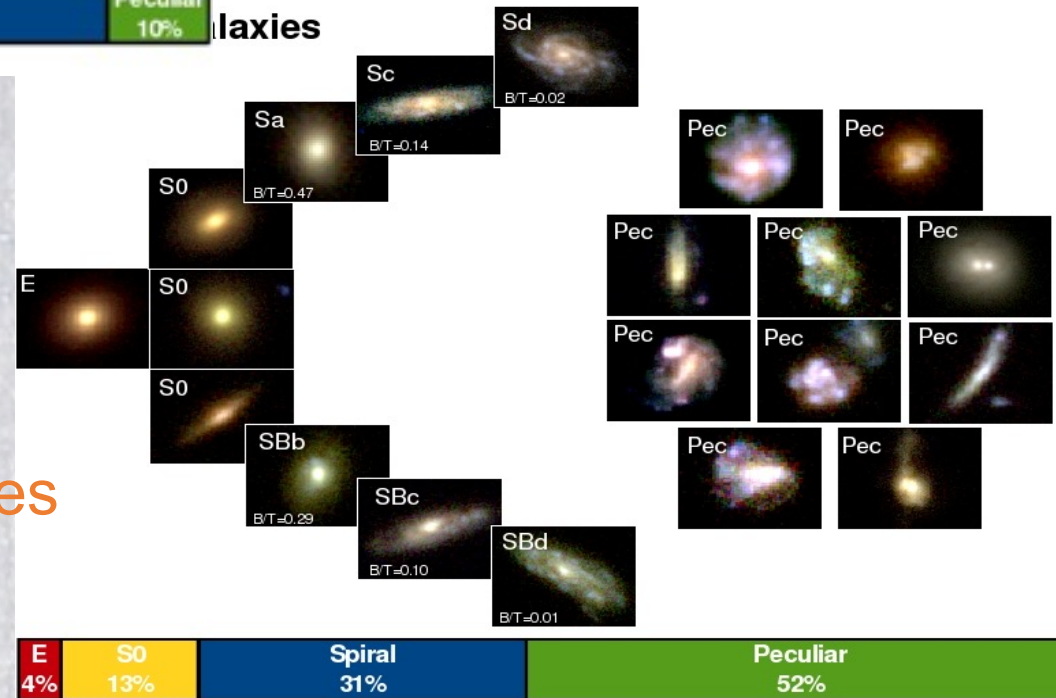
Évolution des galaxies

Aujourd'hui

Local Galaxies



Galaxies



Il y a 6 milliards d'années

Conclusion

- Trier, classer est une **étape indispensable de la phase d'induction** pour analyser des groupes d'objets (astres).
- Les classes sont comparées entre elles pour identifier les **paramètres critiques** qui les différencient et qui sont donc les **paramètres clefs des modèles**.
- Les **femmes ont joué un grand rôle** car elles étaient trop souvent cantonnées aux tâches ingrates de classement.
- La **classification évolue** au fil des nouvelles observations et des nouvelles techniques d'observation de même que les paramètres qui définissent les classes.
- In fine, la classification peut aboutir à :
 - la **définition de nouveaux objets** qui peuvent prendre une identité propre au-delà de la classification (ex. nébuleuses -> galaxies) ;
 - une compréhension de la **nature et de l'évolution des objets** classés (ex. Diagramme HR).