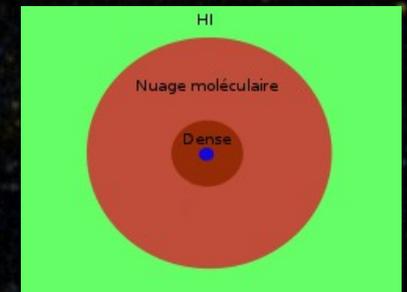
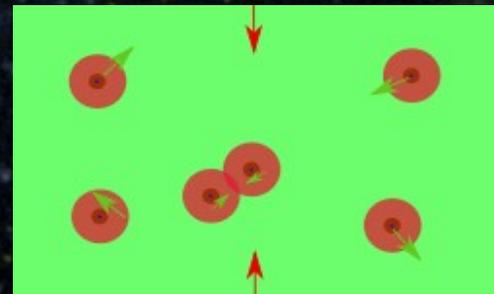
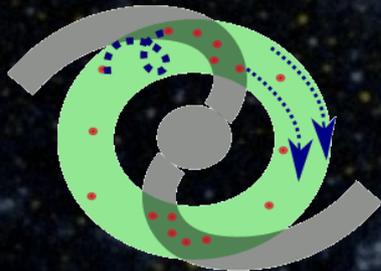
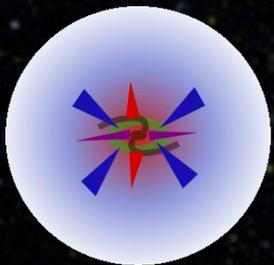


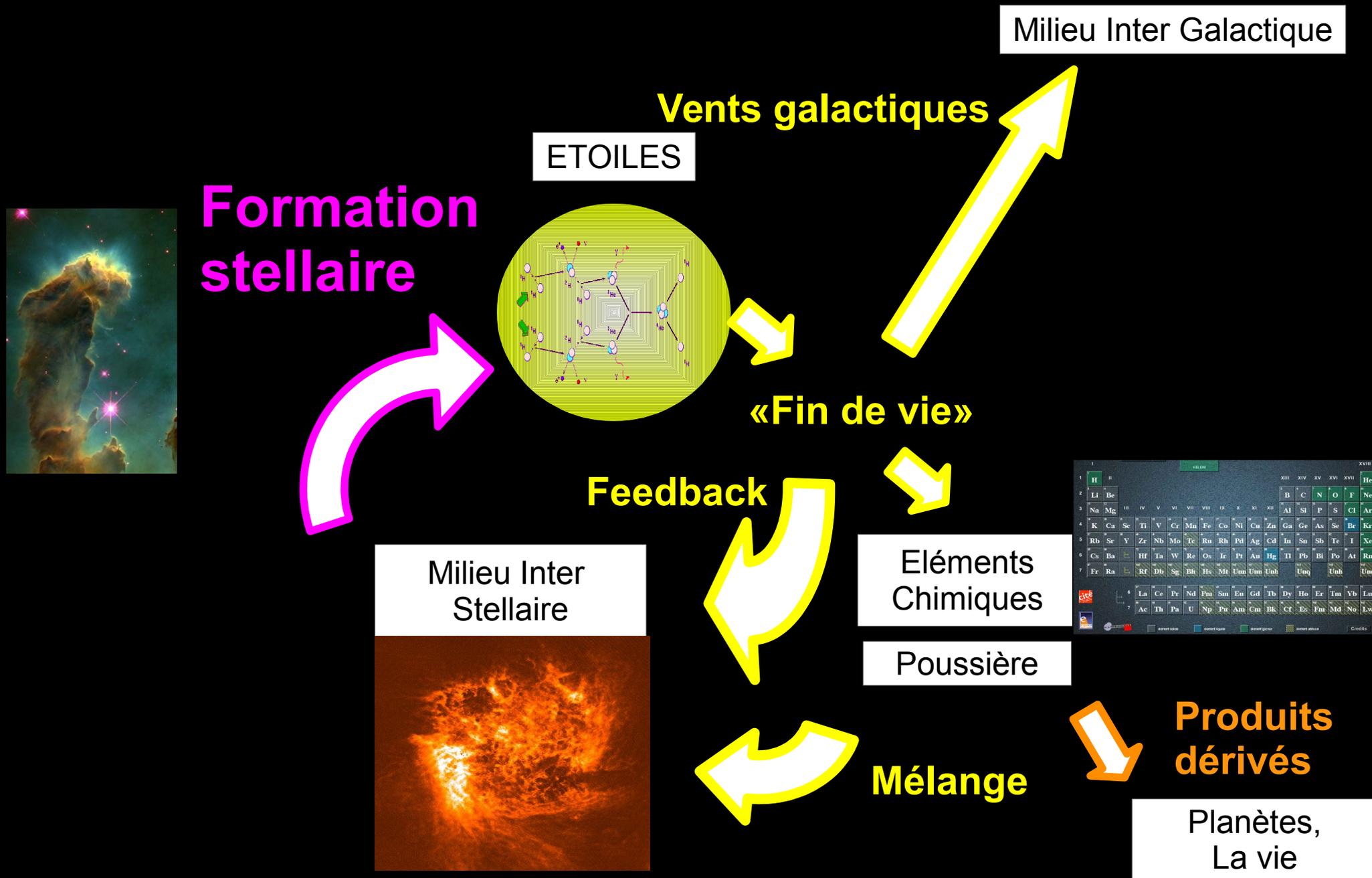
La Formation Stellaire dans les galaxies

*Un sujet important au cœur de nombreux
travaux dans nos laboratoires.*

Samuel Boissier



Le moteur du cycle d'évolution des galaxies



Rôle primordial dans l'évolution des galaxies

Formation stellaire sur les échelles galactiques

RCW120 :
Une région de
formation
stellaire dans la
Voie Lactée



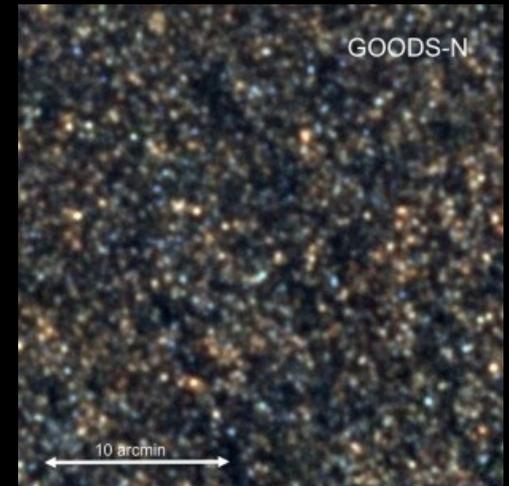
ESO/APEX/DSS2/SuperCosmos/
Deharveng/Zavagno

MESSIER33 :
Une galaxie
proche qui
forme des
étoiles



GALEX + Spitzer
(NASA/JPL-Caltech)

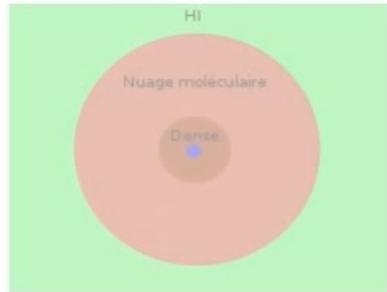
Herschel Deep
Field: la formation
stellaire « intégrée »
de galaxies
lointaines, très
lointaines



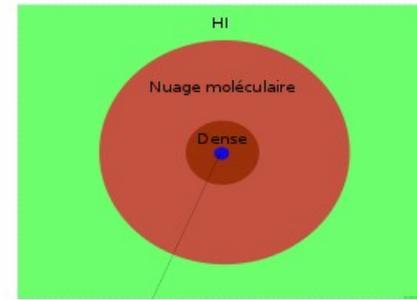
ESA/SPIRE
Consortium/HerMES

Formation stellaire dans les galaxies dépend de l'échelle dont on parle !

Echelles

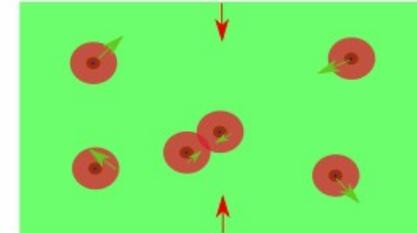


a- Zone de formation stellaire

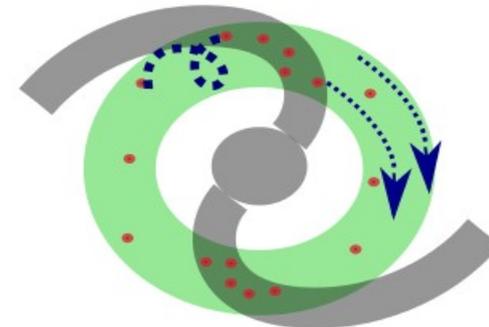


Formation stellaire

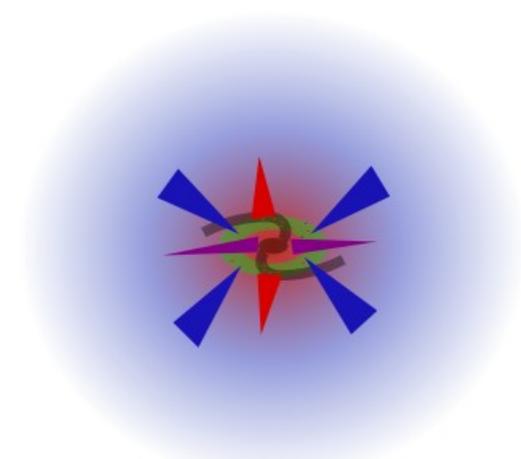
b- Intérieur du disque galactique



c- La galaxie



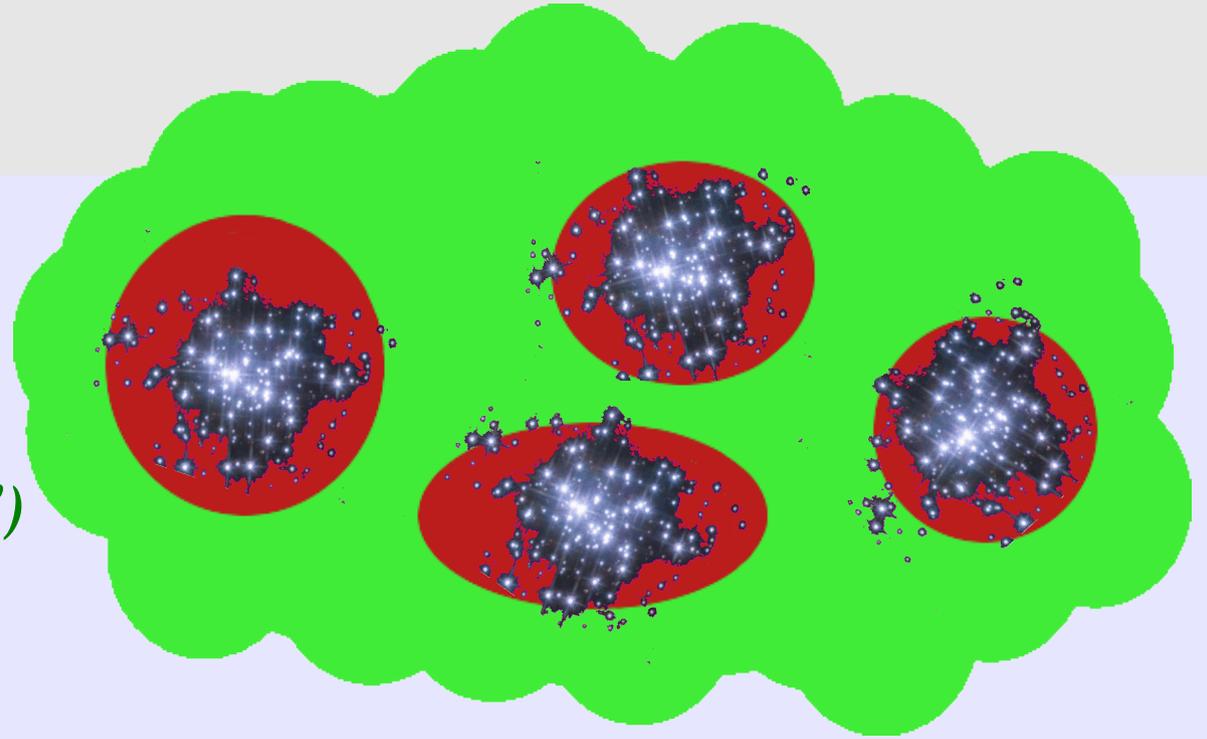
d-Grandes échelles



Différents effets sur différentes échelles

Le taux de formation stellaire

SFR:
Star Formation Rate
(*“Taux de Formation Stellaire”*)



$$d(\text{mass of new stars}) = \text{SFR} \times dt$$

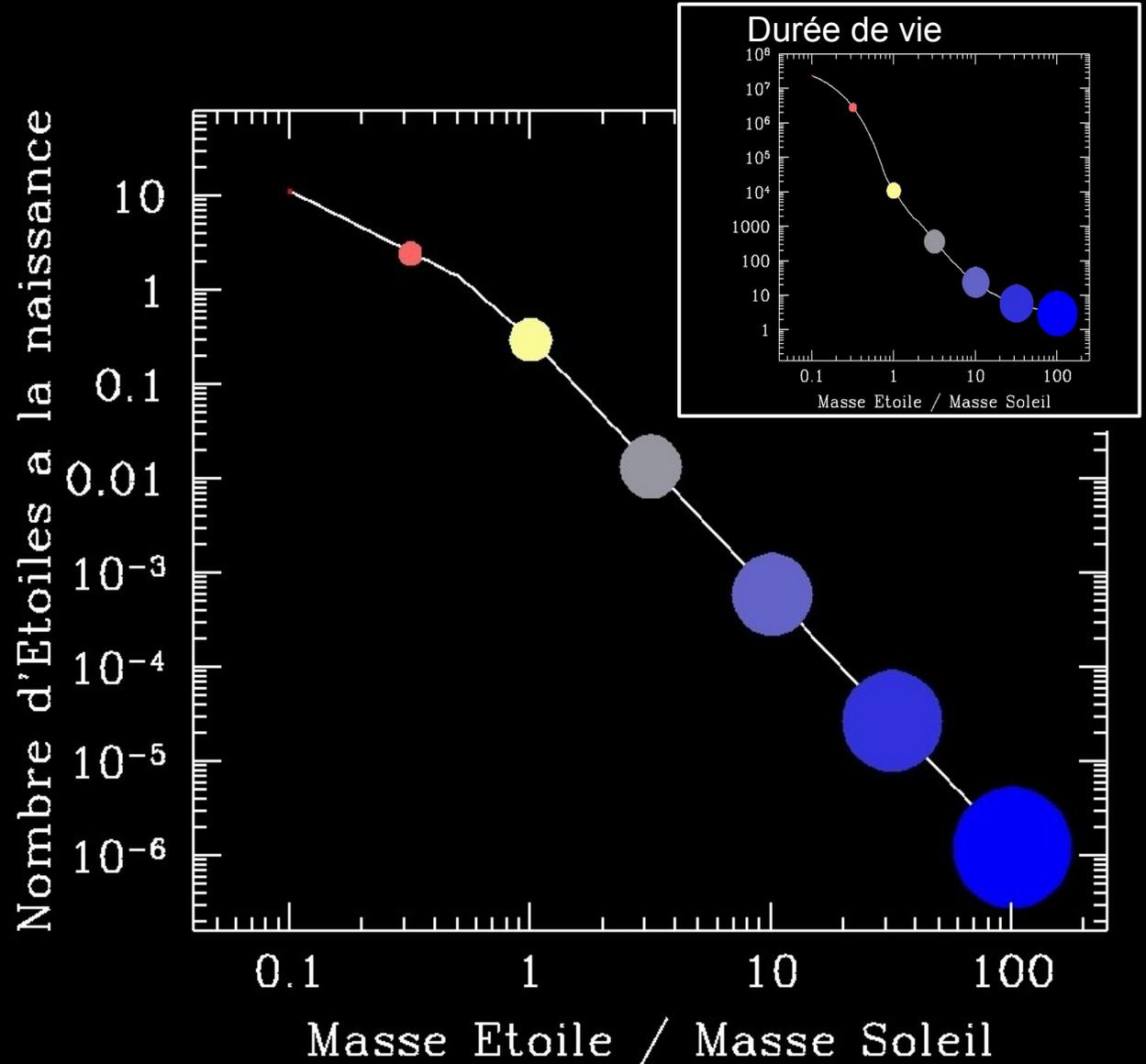
La fonction de masse initiale

IMF:
Initial Mass Function
(*“Fonction de Masse
Initiale”*)

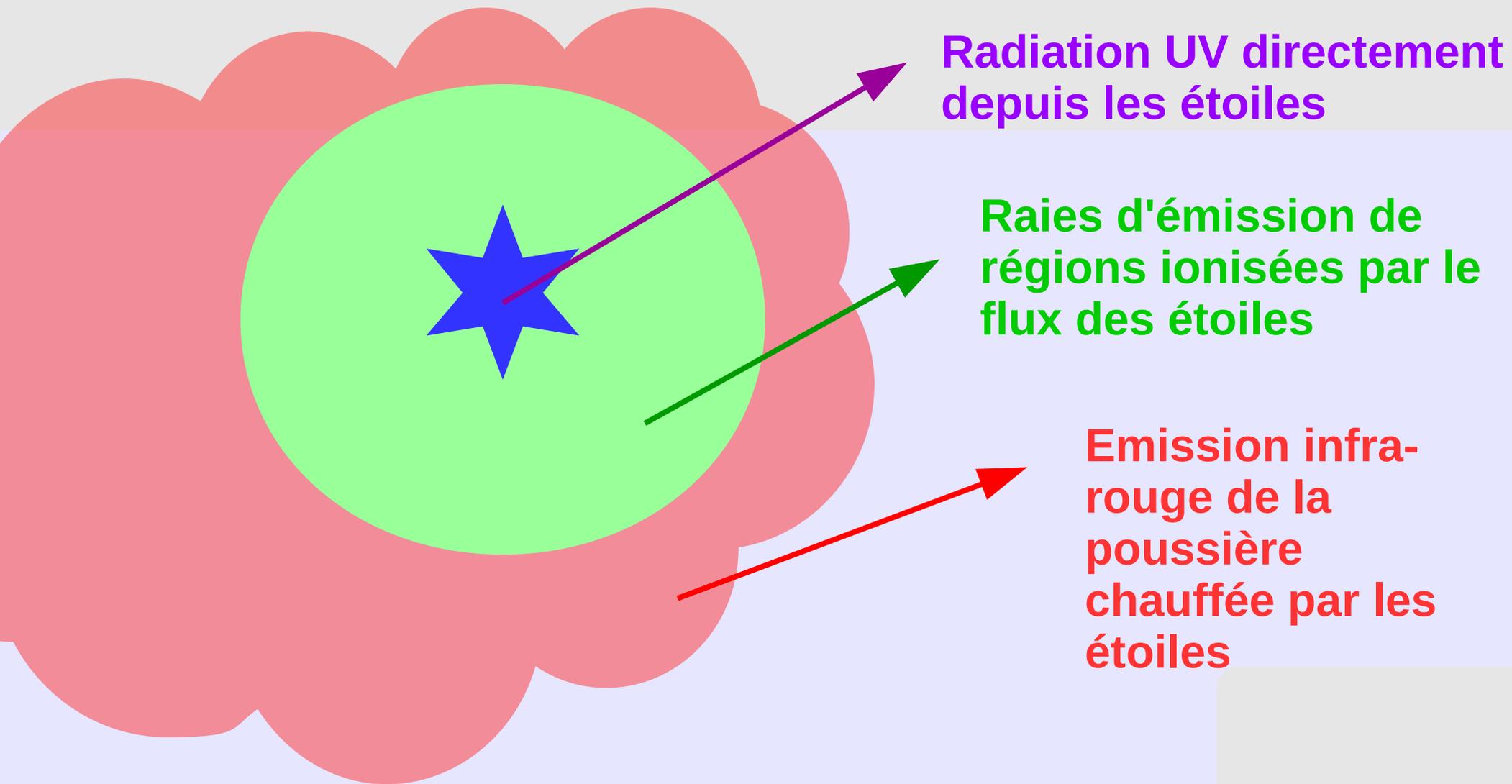
Nombre d'étoiles
par intervalle de
masse.

NB:
Les étoiles bleues
massives et chaudes
ont des durée de vie
courte : elle
serviront à
« tracer » la
formation stellaire.

$$d(\text{number of stars of mass } M) = \text{IMF} \times dm$$



Les traceurs de la formation stellaire

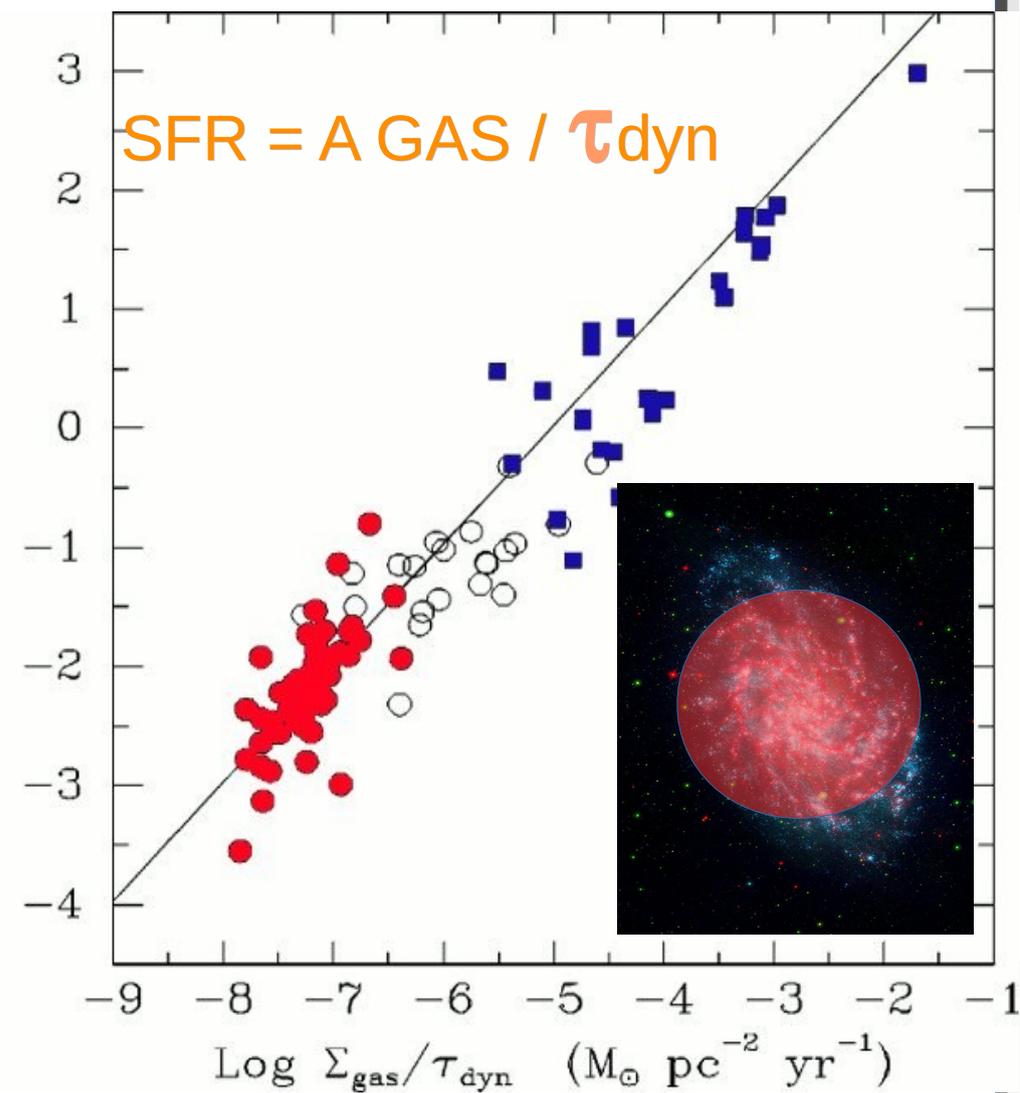
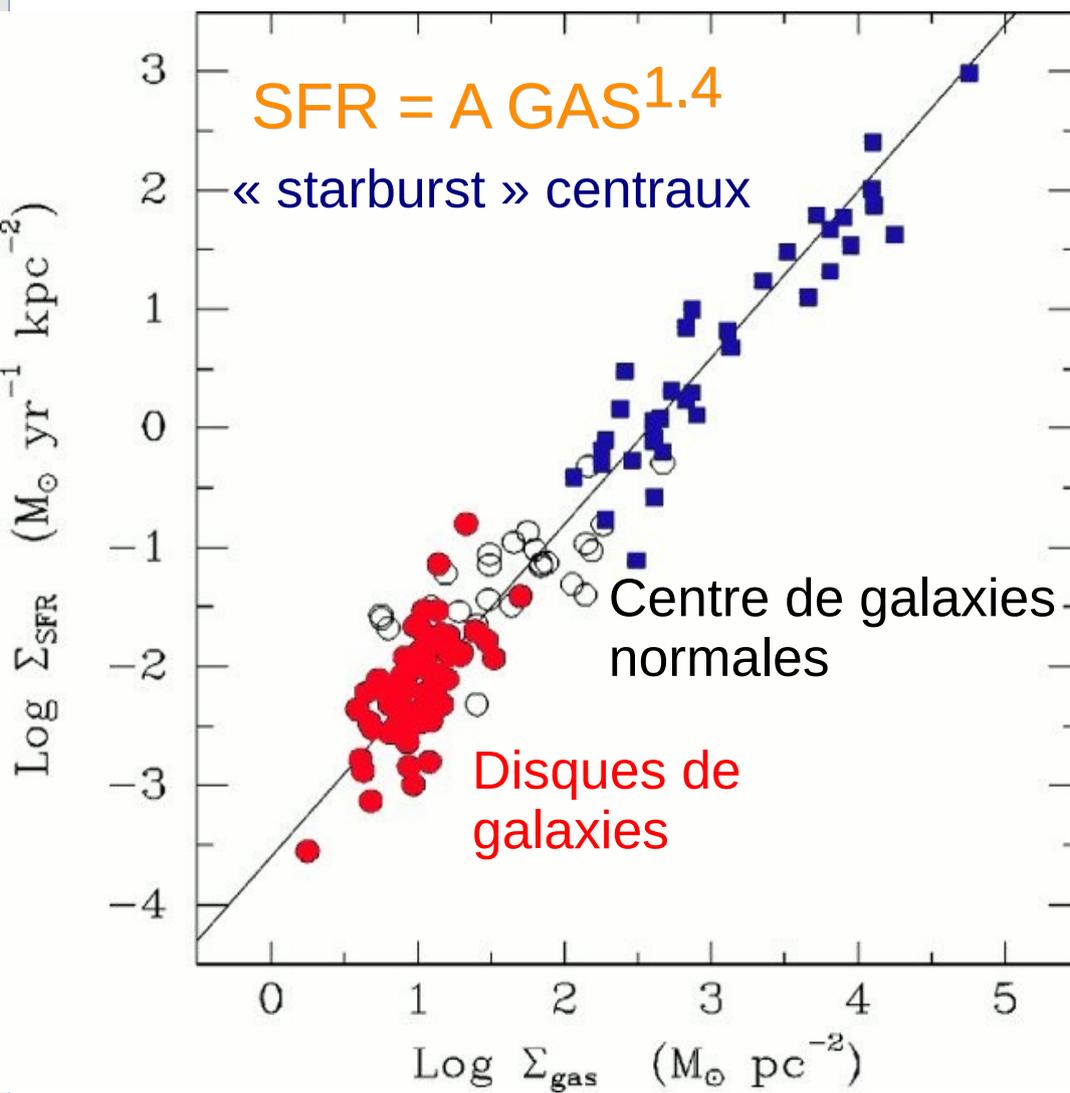


**Et lors de l'explosion des étoiles massives :
supernovae ou Sursauts Gamma (GRBs).**

Quelques questions que l'on peut maintenant se poser :

- Qu'est-ce qui détermine le taux de formation d'étoile dans une galaxie ou dans une région ?
- Lien avec d'autres quantités physiques (gaz)
- Y a t il une quantité minimum de gaz nécessaire (effet de seuil)
- Est-ce que la fonction de masse initiale est universelle ?
- Sur quelle échelle étudier ?
- Est-ce que cela varie au cours de l'histoire de l'univers (avec le « redshift »?)

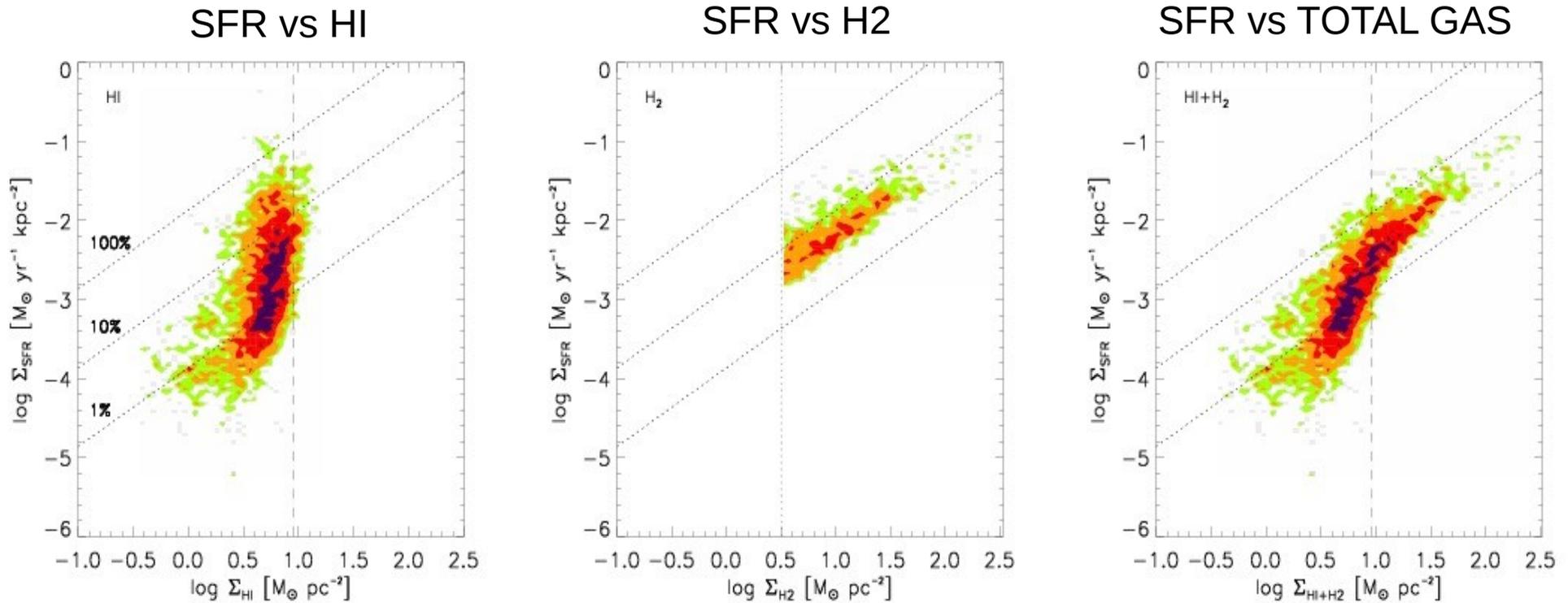
Les « lois » de formation stellaire (« Loi de Schmidt/Kennicutt »)



Kennicutt (1998)

Ici ce sont des mesures « globales »

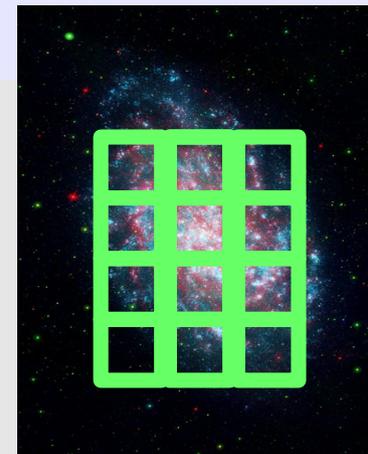
Les « lois » de formation stellaire (« Loi de Schmidt/Kennicutt »)



Bigiel et al. (2008)

Etudes locales (quelques 100 pc):

- Une connection directe avec le gaz moléculaire
- Une loi à 2 pentes avec le gaz total,
- Pas de relation avec le gaz neutre HI (saturation at $\sim 10 \text{ Msol/pc}^2$).

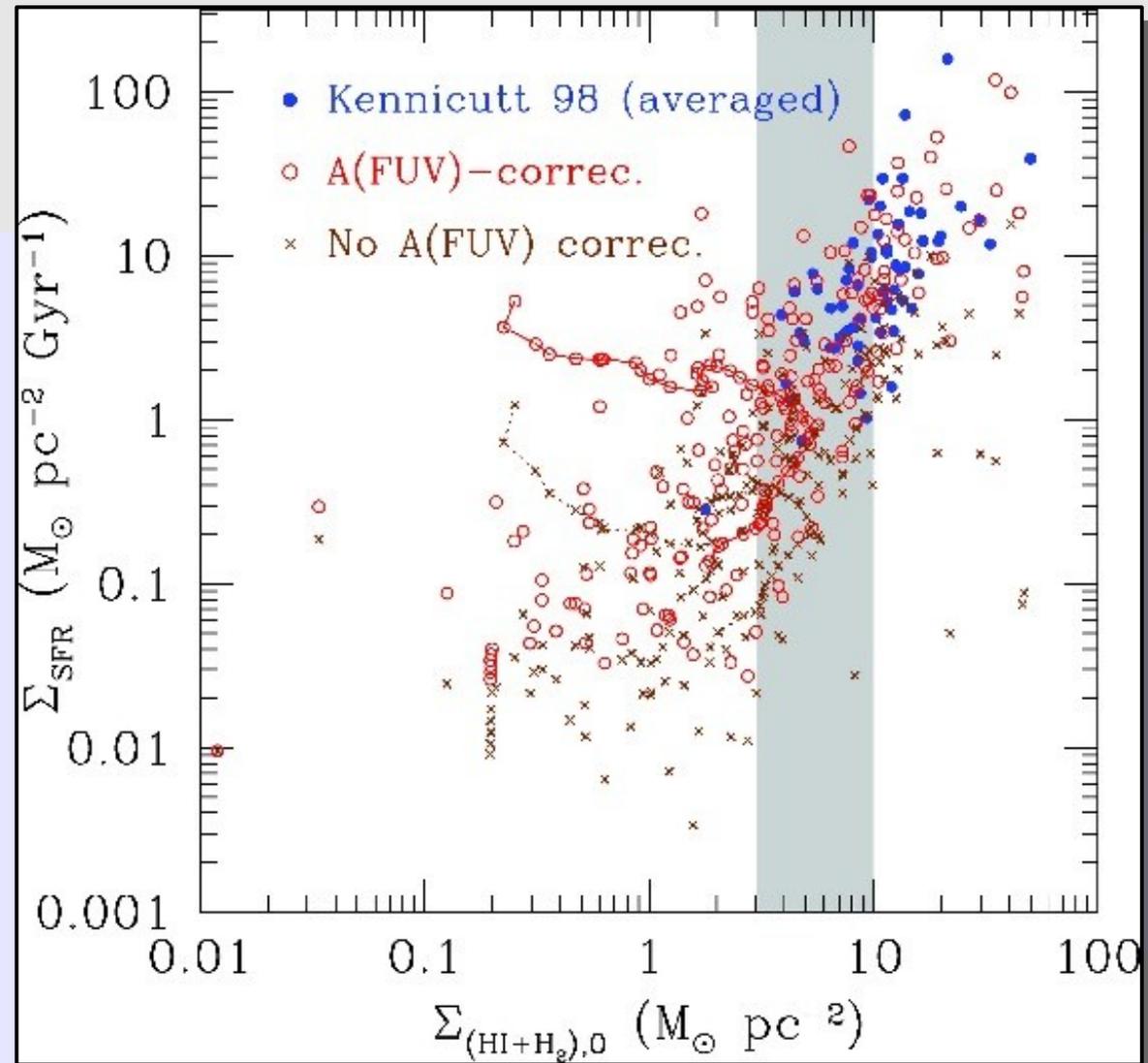


Les « lois » de formation stellaire (« Loi de Schmidt/Kennicutt »)

Etudes radiales :

Des résultats globalement similaires mais :

Pas de signe d'un « seuil » de formation stellaire



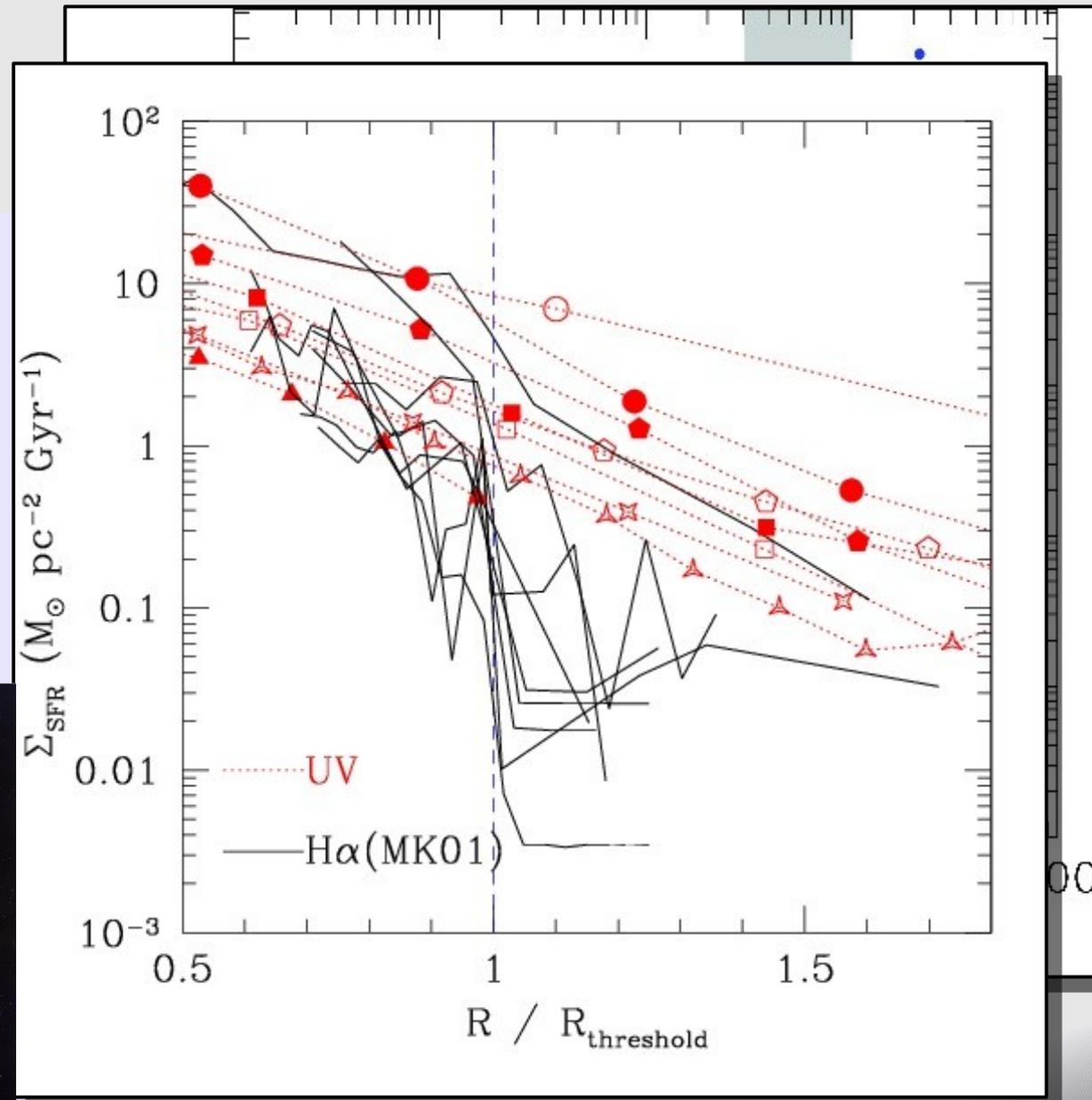
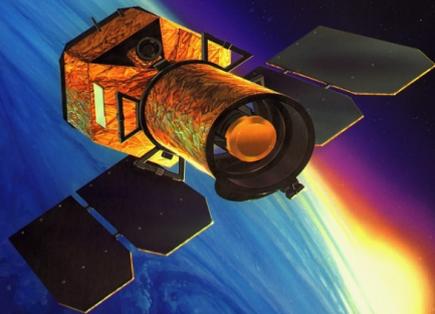
Les « lois » de formation stellaire (« Loi de Schmidt/Kennicutt »)

Etudes radiales :

Des résultats globalement similaires mais :

Pas de signe d'un « seuil » de formation stellaire

GALEX : les galaxies dans l'Ultra-violet



Pourquoi attendre un seuil ?

Stability of a stellar disk

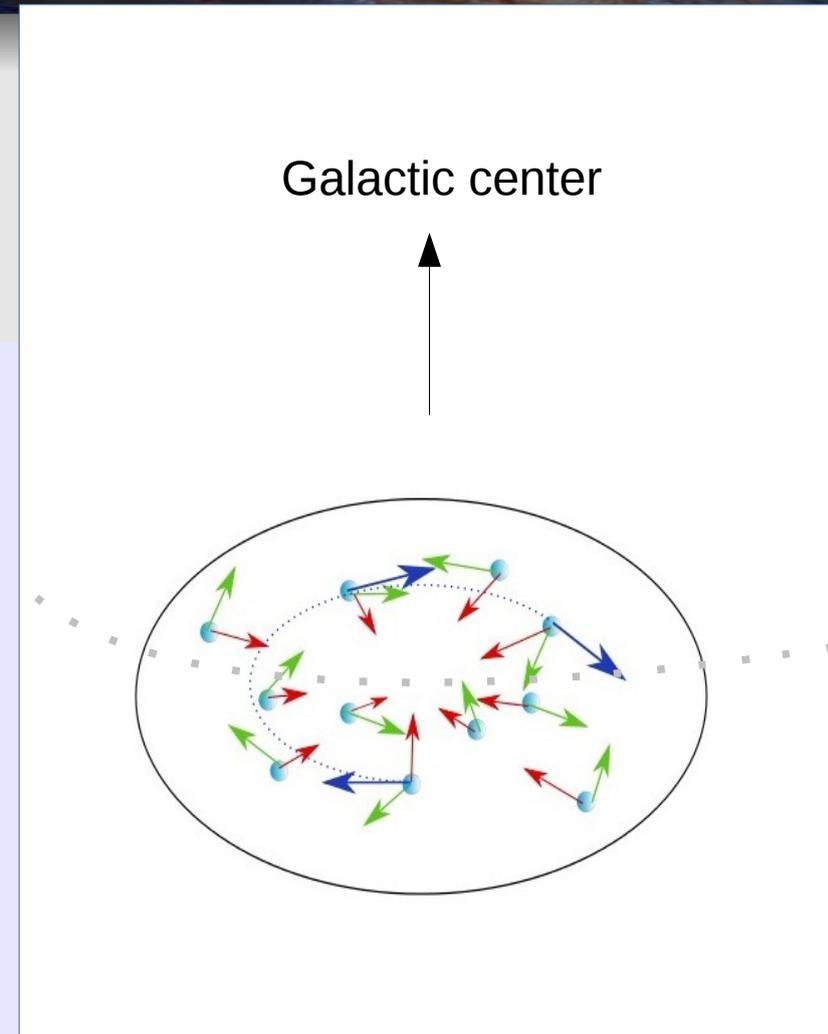
$$Q_* = \frac{\sigma_* \kappa}{3.36 G \Sigma_*}$$

Stability of a gaseous disk

$$Q = \frac{\sigma_{gas} \kappa}{\pi G \Sigma_{gas}}$$

Gaseous + stellar disk

$$Q \approx \frac{\sigma_{gas} \kappa}{\pi G \Sigma_{gas}} \left(1 + \frac{\Sigma_* \sigma_{gas}}{\Sigma_{gas} \sigma_*} \right)^{-1}$$



Q=1 définit une
“**densité critique**”

Galaxies XUV* : des galaxies en train de grandir ?

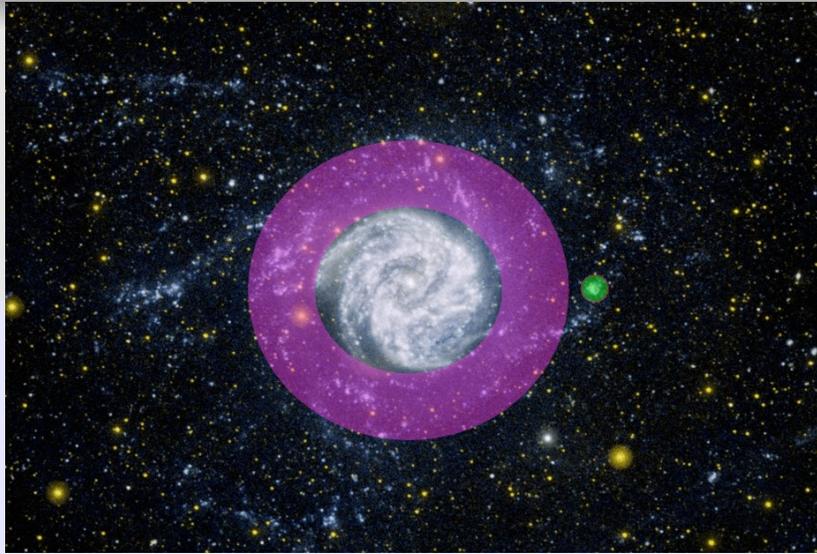
* XUV = eXtended Ultra Violet



- * Découverte : Gil de Paz et al. 2005, Thilker et al. 2005
- * Premières études statistiques : 30 % des galaxies ?
- * Lien avec les galaxies à faible brillance de surface ?



Retour sur les types de loi



LOCAL:

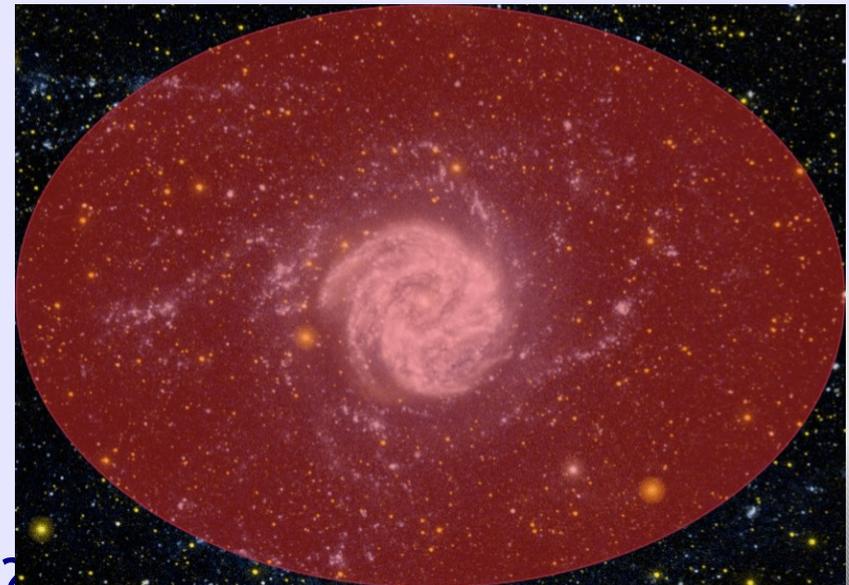
- Universalité du processus dans les nuages (bonne relation entre gaz moléculaire et SFR)

RADIALE:

- Moyenne les observations sur la durée de vie des nuages moléculaires et le temps de mélange
- Bonne relation avec le gaz total
- On peut voir les effets moyens des bras spiraux

GLOBALE:

On trouve des relations avec le gaz total : rôle du réservoir disponible pour la formation stellaire ?



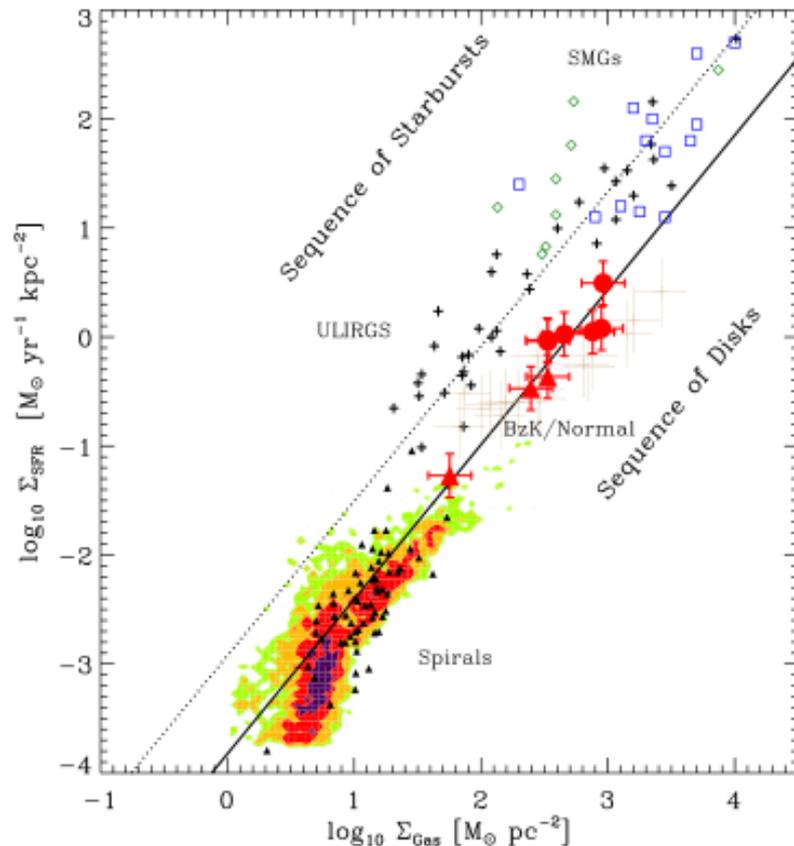


Figure 2. SFR density as a function of the gas (atomic and molecular) surface density. Red filled circles and triangles are the BzKs (D10; filled) and $z \sim 0.5$ disks (F. Salmi et al. 2010, in preparation), brown crosses are $z = 1-2.3$ normal galaxies (Tacconi et al. 2010). The empty squares are SMGs: Bouché et al. (2007; blue) and Bothwell et al. (2009; light green). Crosses and filled triangles are (U)LIRGs and spiral galaxies from the sample of K98. The shaded regions are THINGS spirals from Bigiel et al. (2008). The lower solid line is a fit to local spirals and $z = 1.5$ BzK galaxies (Equation (2), slope of 1.42), and the upper dotted line is the same relation shifted up by 0.9 dex to fit local (U)LIRGs and SMGs. SFRs are derived from IR luminosities for the case of a Chabrier (2003) IMF.

Séquence double
(Starbursts / Disks) ?

Temps dynamique différent ?

Très débattu actuellement :
facteurs de calibration du gaz
moléculaire très incertain

Calibrations...

X: factor
1.3-1.4 to
account
for
metallicity

$$M_{\text{gas}} = M_{\text{neutral}} + M_{\text{molecular}} (+ M_{\text{ionized}})$$

$$M(\text{Hydrogen}) \sim M(\text{HI}) + M(\text{H}_2)$$

- H₂ at a few 10K does not radiate : only indirect measurements.
- CO : most abundant molecule after H₂. CO1-0 (2.6mm) is easily excited.
- Calibration factor $X = N(\text{H}_2) / I(\text{CO})$?
- For galaxies of size $\sim <$ beam

$$M(\text{H}_2) = 2.96 \cdot 10^{-19} \cdot D^2 \cdot I(\text{CO}) \cdot X \cdot \Theta^2$$

Solar
masses

Distance
Mpc

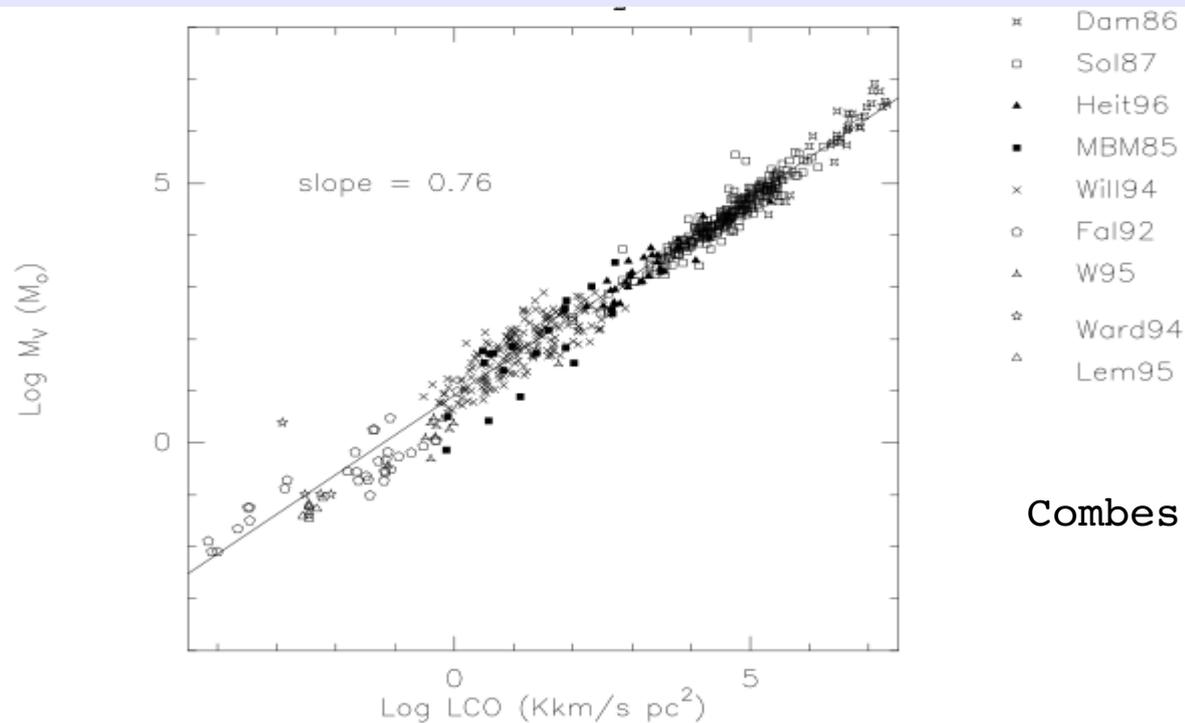
K km s⁻¹

Beam (arcsec²)

Calibration of $X=N(H_2)/I(CO)$:

Measuring the size of molecular clouds (R) + ΔV from the line
=> Deriving virial mass M_v .

Empirical correlation with $L(CO)$



Combes 1999

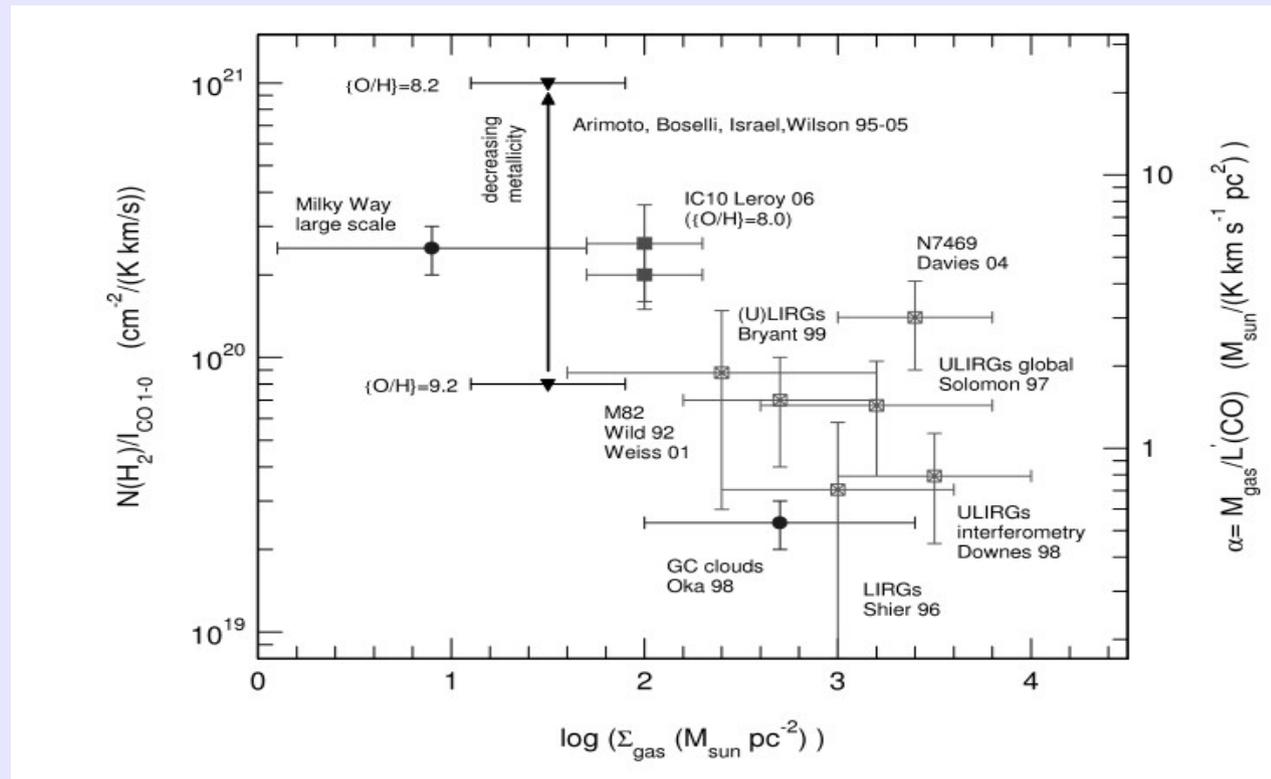
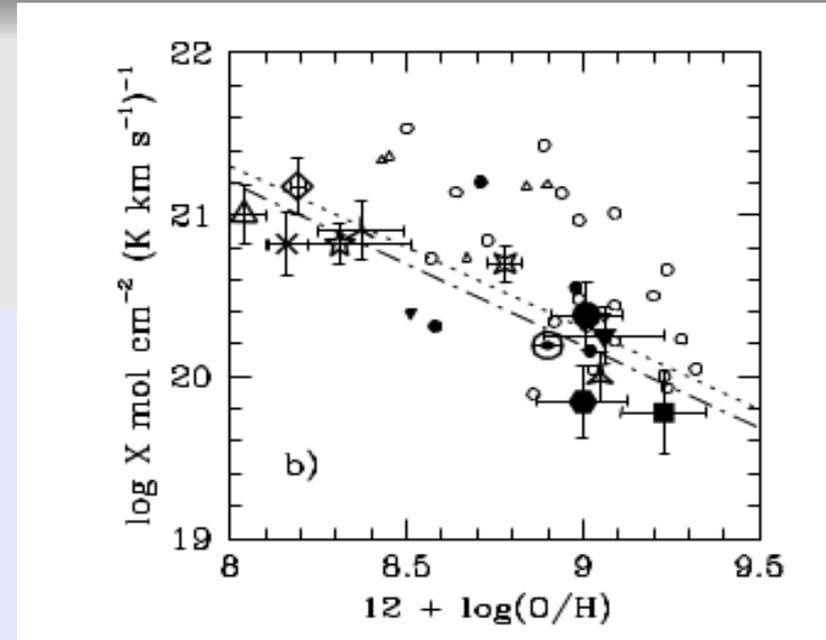
Calibrations

Le facteur de conversion dépend de l'abondance d'oxygène...

Les galaxies locales ULIRGs (formant beaucoup d'étoiles):

On observe que le facteur X standard surestime la masse par un facteur 3.

A grand z, on a de plus probablement de plus grandes densités : conditions différentes ?



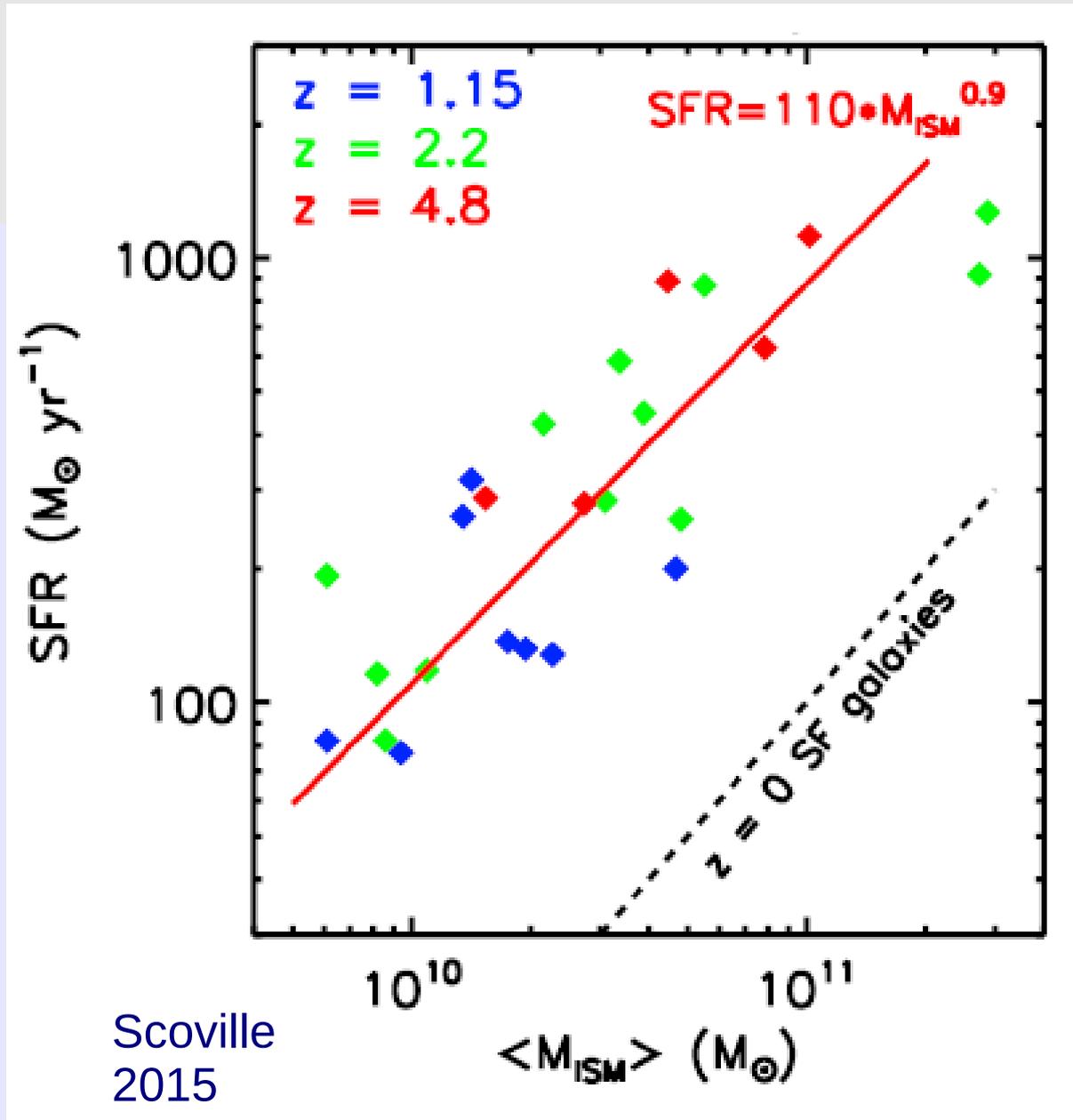
Les lois de Schmidt à grand redshift

Résultat récent de
2015 :

Une loi de Schmidt
universelle à redshift
plus grand que 1 mais
décalée par rapport à
la version locale.

Débat :

La mesure du gaz est
basée sur l'émission des
poussières froides et
des calibrations là aussi
incertaines !



L'étude de la formation stellaire sera encore au cœur de nos recherches dans les années à venir :

ALMA / NOEMA :

Gaz et poussière dans les galaxies proches (détails) et lointaines (cf Scoville 2015)

TELESCOPES GEANTS SUR TERRE (E-ELT, GMT, TMT)

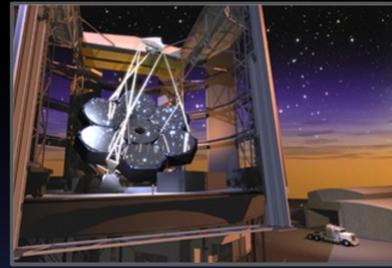
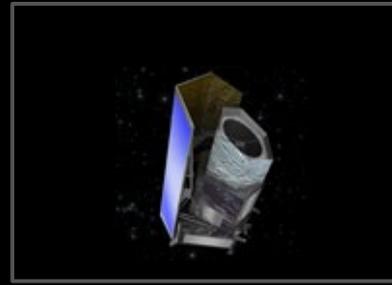
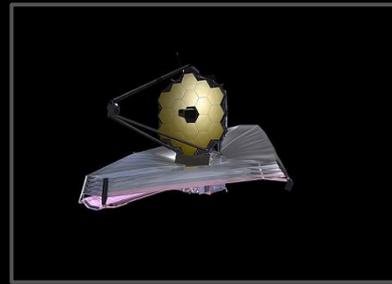
Etude de galaxies distantes et faibles mais aussi des étoiles dans les galaxies proches

TELESCOPES DANS L'ESPACE (JWST, Euclid, SPICA)

Galaxies distantes, larges échantillons, poussière.

GAIA + Milky Way plane surveys (Herschel)

Formation stellaire et son histoire dans la Voie Lactée





The gas in galaxies

X: factor
1.3-1.4 to
account
for
metallicity

$$M_{\text{gas}} = M_{\text{neutral}} + M_{\text{molecular}} (+ M_{\text{ionized}})$$

$$M(\text{Hydrogen}) \sim M(\text{HI}) + M(\text{H}_2)$$

$$M_{\text{HI}} = 2.36 \times 10^5 D^2 \int F dV M_{\odot}$$

where D is the distance in Mpc.

Total HI line flux
In Jy km/s

Distance (Mpc)

Roberts 1962, AJ 67, 437

Wild, 1952 ApJ 115, 206

(from alfalfa web site)