

Ségrégation morphologique, bimodalité et effets d'environnement

1. Evolution morphologique en fonction de l'environnement
2. La bimodalité des galaxies
3. La relation morphologie-activité-densité
4. Lien bimodalité-environnement: quelle échelle domine ?

Evolution morphologique en fonction de l'environnement

L'environnement des galaxies joue un rôle fondamental dans leurs processus de formation et d'évolution:

1. dans le paradigme actuel, les galaxies se forment de manière hiérarchique (hierarchical clustering), c'est-à-dire par fusions successives des plus petites aux plus grosses, par opposition à la formation monolithique (monolithic collapse), où les galaxies naissent d'un bloc à grand redshift. Dans ce contexte, la différence entre formation et évolution disparaît puisqu'une galaxie comme la Voie Lactée résulte de la fusion d'une centaine de galaxies au cours de 10 Gyr. La morphologie, mais aussi la formation d'étoiles et la croissance d'un trou noir supermassif au centre des galaxies, sont donc influencées de manière forte par l'environnement.
2. dans les structures gravitationnellement liées les plus massives de l'univers que sont les amas de galaxies, ces effets sont exacerbés et l'on voit effectivement la distribution des galaxies en types morphologiques fortement altérée dans les amas par rapport au champ.

Le point 1 implique que les galaxies sont de plus en plus affectées par l'environnement en remontant dans le passé où l'univers était plus dense et les galaxies plus nombreuses.

Le point 2 implique qu'à une époque donnée (un z donné), les galaxies subissent des effets différents selon la région de l'univers où elles se trouvent.

Formation hiérarchique des structures & amas de galaxies

1. Small mass fluctuations (such as those revealed by the all-sky map, shown at left, obtained by the COBE satellite) are relics of the Big Bang. These are the "seeds" of galaxy formation.

2. Invisible dark matter halos (shown in brown below) collapse from the ambient background, tracing the initial mass fluctuations.

3. Primordial gas condenses within the dark matter halos. Some stars form during the collapse, and collect into globular clusters. Most of the gas collects into disks (shown in yellow).

4. Stars form in the disk, gradually building up a spiral galaxy.

5. A collision of two (or more) disks produces an elliptical galaxy. The globular clusters from the disks are preserved in the transformation.

Abraham & van den Berg 2000, Science, 5533, 1273

Amas de Coma

Effets d'environnement dans les amas de galaxies

Alors que la distance entre étoiles au sein d'une galaxie sont très grandes:
 $20 \times 10^6 \times$ leur diamètre

La distance moyenne entre 2 galaxies est bien plus réduite dans un amas:
 $15-20 \times$ leur diamètre

Il en résulte que les collisions entre galaxies sont bien plus fréquentes qu'entre étoiles, mais la dispersion de vitesses des galaxies d'amas ($\sigma_v \sim 1000 \text{ km s}^{-1}$) est beaucoup plus grande que celles des étoiles des galaxies ($\sigma_v \sim 200-300 \text{ km s}^{-1}$), donc l'énergie cinétique \gg potentiel gravitationnel et la fusion de deux galaxies est peu probable dans un amas. Par contre, les effets de marée multiples (harcèlement, harassment, en anglais), affectent les galaxies.

Le gas intra-amas de son côté a pour effet d'éplucher les galaxies de leur réservoir de gaz (RPS= Ram Pressure Stripping: épluchage par pression dynamique).

Flambée de formation d'étoiles et bleuissement des galaxies lors d'une fusion

Interacting Galaxy System NGC 6745

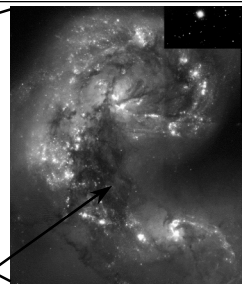
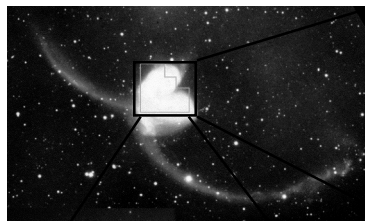


Hubble
Heritage

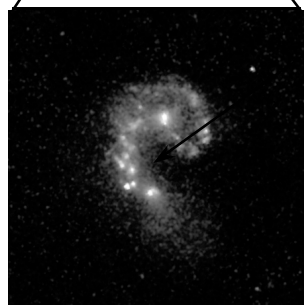
NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)
Hubble Space Telescope/WFPC2, STScI PR000004

Galaxies J1 - David Elbaz

Flambée de formation d'étoiles et émission infrarouge des galaxies lors d'une fusion (merger): les cas des Antennes (Arp 244, NGC 4038/4039)



HST WFPC2
V & I
Whitmore et al. 1997



l'émission pique dans la
région optiquement sombre...

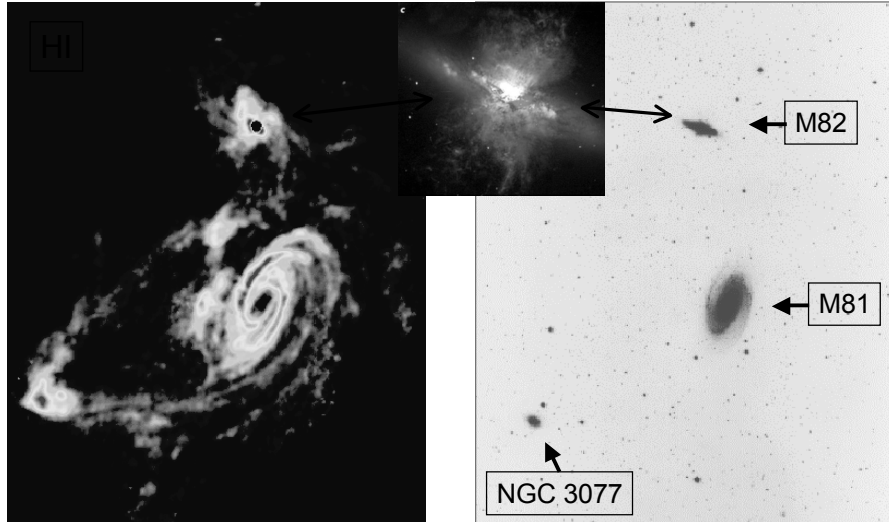
Image Spitzer-IRAC 3.6-8 μm

Galaxies J1 - David Elbaz

Bimodalité et environnement

Page 6

Flambée de formation d'étoiles et interaction "cachée": le cas de M82 et M81



Il est donc fondamental de ne pas séparer l'étude de la morphologie ou de l'activité (formation stellaire, noyau actif) des galaxies de celle de leur environnement

Ségrégation morphologique, bimodalité et effets d'environnement

- L'étude des amas de galaxies a permis de mettre en évidence un effet de *ségrégation morphologique*: la proportion de galaxies spirales diminue des régions peu denses aux régions très denses en galaxies, de 80% à 10% des galaxies en nombre.
- L'article Dressler (1980, ApJ 236, 351) est la référence classique à cet effet de ségrégation morphologique, qui a d'abord été mesuré grâce à l'étude des amas de galaxies. On a d'abord pensé qu'il s'agissait d'un effet propre à la physique des amas de galaxies riches en galaxies mais aussi en gaz, dont l'effet est d'éplucher les galaxies de leur réservoir de gaz (RPS= Ram Pressure Stripping).
- Mais les galaxies d'amas ne représentent que 5 à 10% des galaxies dans l'univers local et la ségrégation morphologique a été mesurée jusqu'à des densités bien plus faibles que celles des amas.

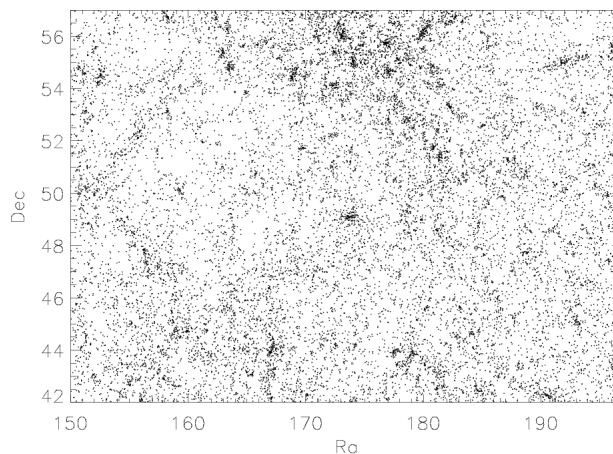
Ségrégation morphologique, bimodalité et effets d'environnement

Plus récemment, on a formulé le problème d'une manière différente. Au lieu de la morphologie des galaxies, on s'est intéressé à leurs *couleurs*. Il est apparu que les galaxies étaient divisées en deux grandes familles: les galaxies rouges et les galaxies bleues. Une division qui se rapproche de la division en galaxies de type précoce (rouges) et tardif (bleues), avec une interprétation différente de celle de Hubble: les galaxies précoces (early-type galaxies) sont celles qui ont formé leurs étoiles tôt dans l'histoire de l'univers et qui sont aujourd'hui constituées d'étoiles froides et rouges. Les galaxies de type "tardif" (late-type galaxies) continuent de former des étoiles et leurs étoiles jeunes et massives sont responsables de leur couleur bleue. On parle de *bimodalité* des galaxies et on a constaté que ces deux familles pouvaient être distinguées aussi par leurs caractéristiques spectrales: discontinuité à 4000 Å, raies d'absorption de Balmer (H δ ,...).

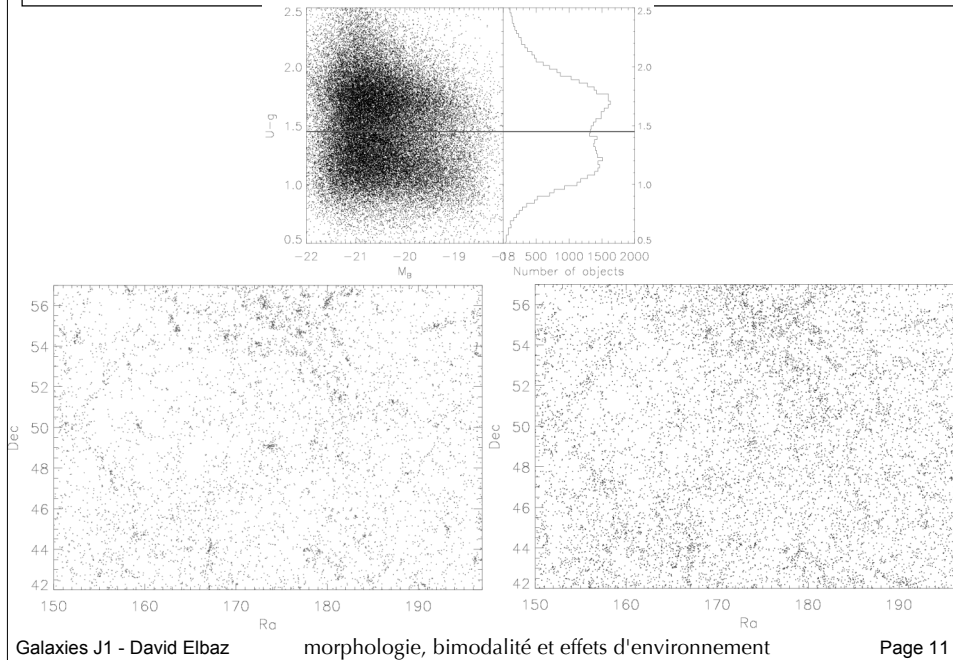
Dans les deux cas, ségrégation morphologique & bimodalité, on mesure la signature a posteriori de l'histoire des galaxies.

Une troisième signature est utilisée: la *relation activité - densité*; la mesure directe du *taux de formation d'étoiles instantané* des galaxies et son lien avec l'environnement.

Distribution spatiale des galaxies ($z < 0.2$) dans le SDSS

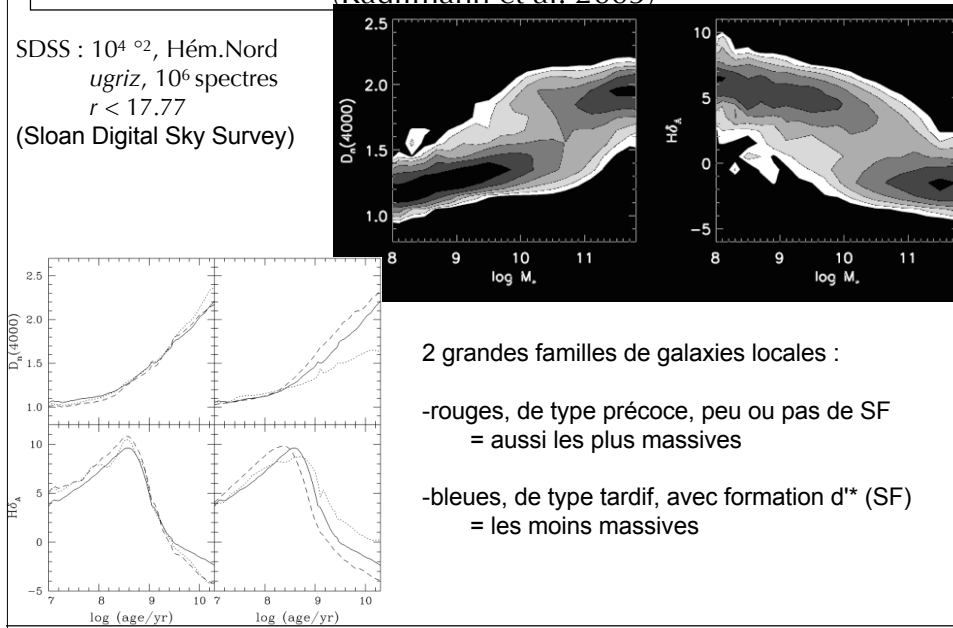


Distributions spatiales des galaxies rouges et bleues

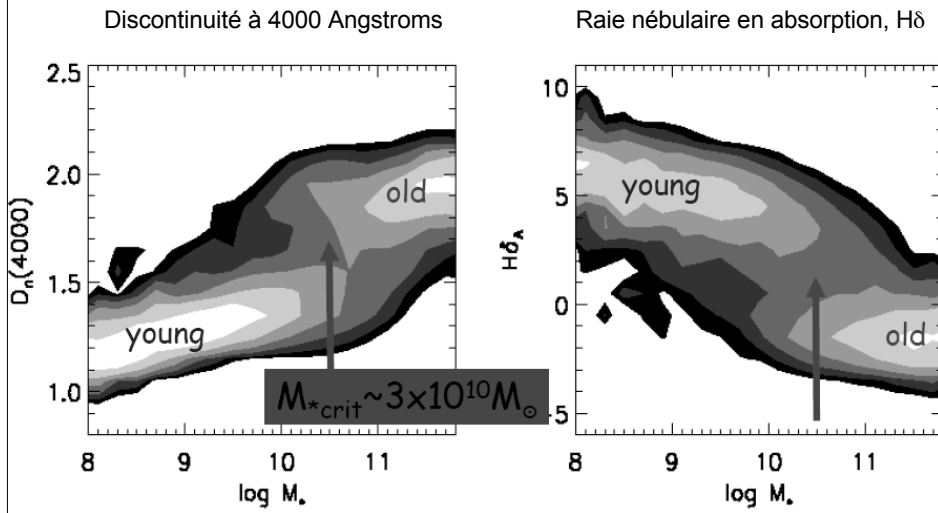


La bimodalité dans les populations de galaxies (Kauffmann et al. 2003)

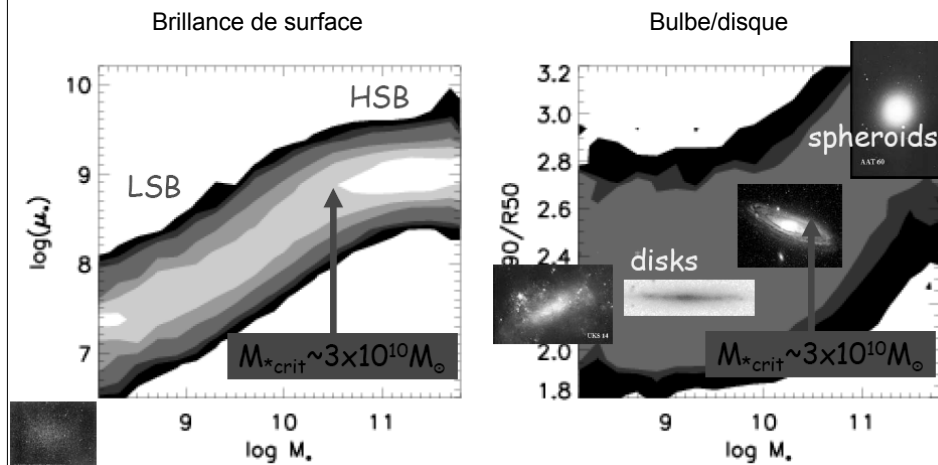
SDSS : $10^4 \text{ } \sigma^2$, Hém.Nord
ugriz, 10^6 spectres
 $r < 17.77$
 (Sloan Digital Sky Survey)



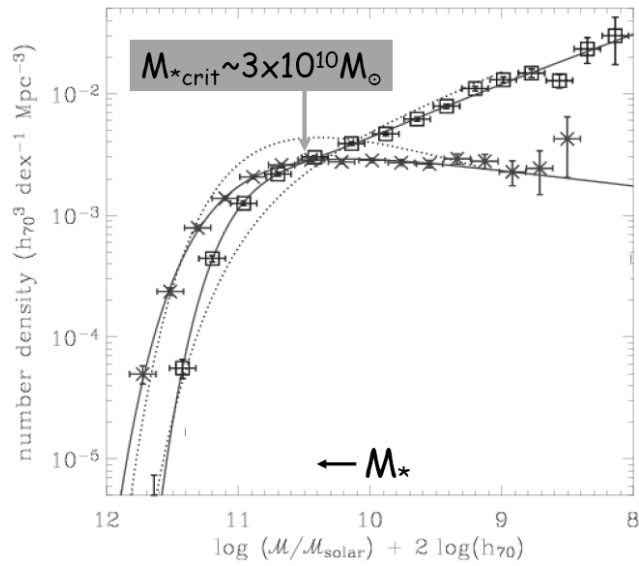
L'échelle de transition dans la bimodalité
(SDSS, Kauffmann et al. 2003)



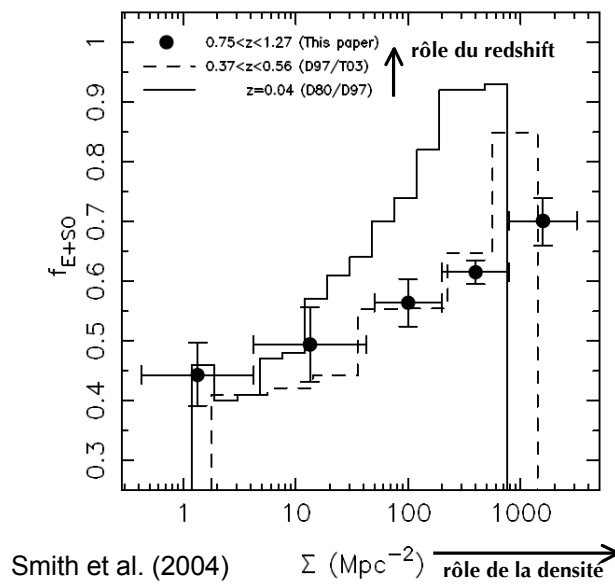
L'échelle de transition dans la bimodalité
(SDSS, Kauffmann et al. 2003)



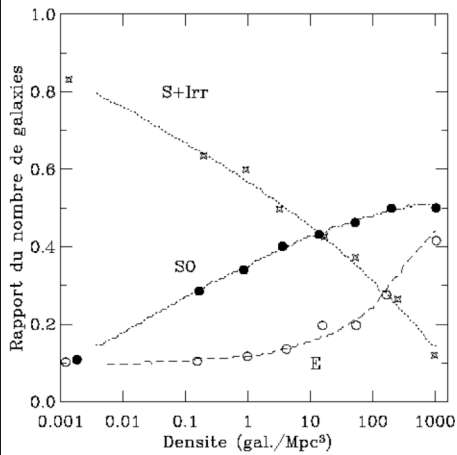
Fonction de luminosité: galaxies rouges / bleues
(SDSS, Baldry et al. 2004)



Evolution morphologique en fonction de l'environnement



Effets d'environnement dans les amas de galaxies

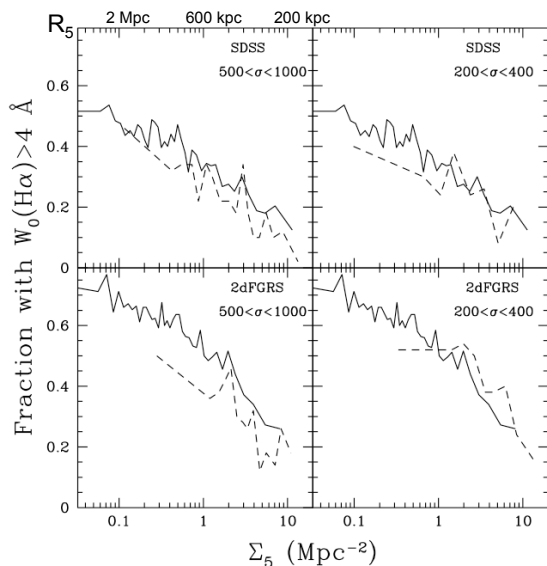


"Ségrégation morphologique" :
(cf Dressler 1980, ApJ 236, 351):

- Interactions gravitationnelles : **Sp --> E**
 - fusions (mergers)
 - passages non fusionnels (fly-by) avec effets de marée (tidal effects)
 - = galaxy harassment
- Epluchage par pression dynamique (Ram Pressure Stripping) par le gaz intra-amas:
Sp --> S0

Lenticulaires (S0) : 10-20 % dans le champ -> 50 % dans les amas riches
Spirales : 80 % -> 10-20 % !

La relation formation stellaire - densité : le rôle des groupes



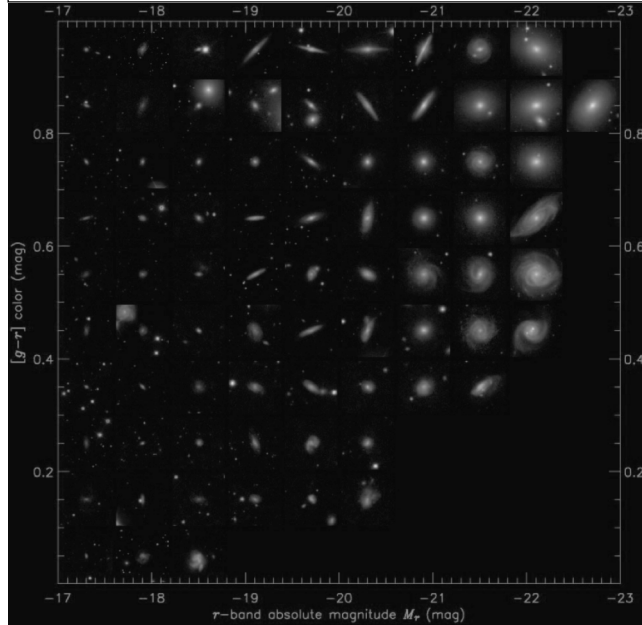
Etude des amas (Balogh et al. 2000): "le principal effet de l'environnement est la suppression du SFR par épluchage dynamique du réservoir de gaz"

Etude de l'environnement (5 + proches galaxies; Balogh et al. 2004): "l'épluchage ne peut agir à ces densités, il faut donc qu'il y ait eu accélération de la formation d'étoiles dans le passé avec l'environnement"

Donc une inversion de la relation densité - activité...
Mais où et quand ?
Par quel processus ?
(interactions, infall ?)

$\Sigma_5 = 5 / (4\pi R_5^2)$, R_5 = distance de la 5^e gal. la + proche

Couleur - magnitude - morphologie dans le SDSS



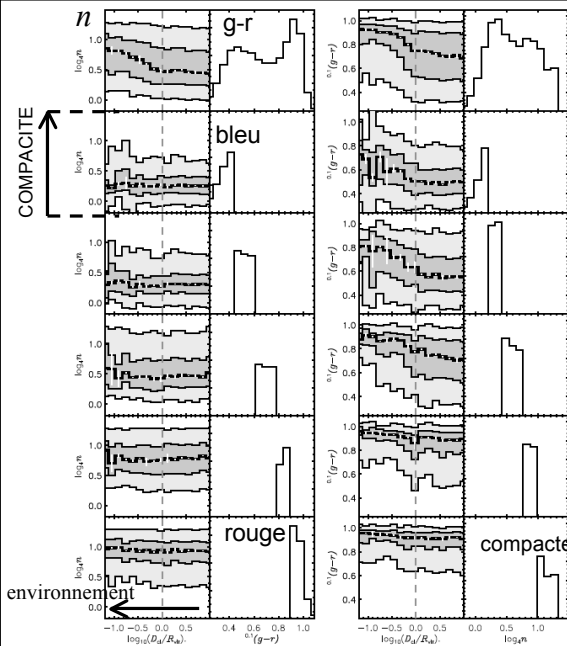
Blanton et al. (2006 ApJ 645, 977)

Galaxies J1 - David Elbaz

morphologie, bimodalité et effets d'environnement

Page 19

La relation morphologie-activité-densité vue par le SDSS



$$I(r) = A \exp \left[- \left(\frac{r}{r_0} \right)^{1/n} \right]$$

Profil de Sersic:

n = indice de Sersic
est une mesure de la compacité
 $n = 1$: profil exponentiel (Sp)
 $n = 4$: profil de
de Vaucouleurs (E)

Environnement: D_g / R_{vir}
 D_g = distance au groupe de +
de 5 galaxies le plus proche
 R_v (viriel) ~ masse du groupe

le profil de lumière, indicateur
de la morphologie des galaxies
ne dépend pas de
l'environnement

Galaxies J1 - David Elbaz

Bimodalité et environnement

Page 20

D.Hogg (2005)

« There is no morphology-density relation »

« What physical processes can « tell » a galaxy star-formation rates about their environments but not do much to the morphologies independantly ?

I think that the conclusion has to be that the processes that set the morphology are somehow internal to the galaxies. That's going to be hard to reconcile with CDM cosmogony. »

Quelle échelle de distance affecte les galaxies ?

Blanton et al. (2006 ApJ 645, 977)

Fraction de galaxies bleues (formation stellaire active) en fonction de la densité locale de galaxies sur des échelles de 0.5, 1 et 6 Mpc (galaxies du SDSS, échantillon de 28089 galaxies)

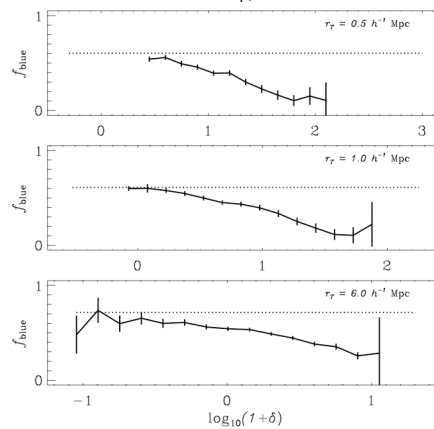
Mesure de la sur-densité locale de galaxies, δ , par rapport à la densité moyenne: on considère un échantillon limité en magnitude absolue (ici $M_r < -18.5$) et on compte le nombre de galaxies, N_i , entre 10 kpc et 1 Mpc (ou 6 Mpc), dans un intervalle de redshift, $\pm 1000 \text{ km s}^{-1}$. On fait le rapport de ce nombre avec le nombre moyen de galaxies attendues dans ce volume, $N_{\text{exp},i}$. La mesure de la sur-densité locale de galaxies est:

$$1 + \delta = \frac{\sum_i N_i}{\sum_i N_{\text{exp},i}}$$

Attention: la taille caractéristique est ici mesurée en $h^{-1} \text{ Mpc}$, pour

$H_0 = 100 h \text{ km/s/Mpc}$

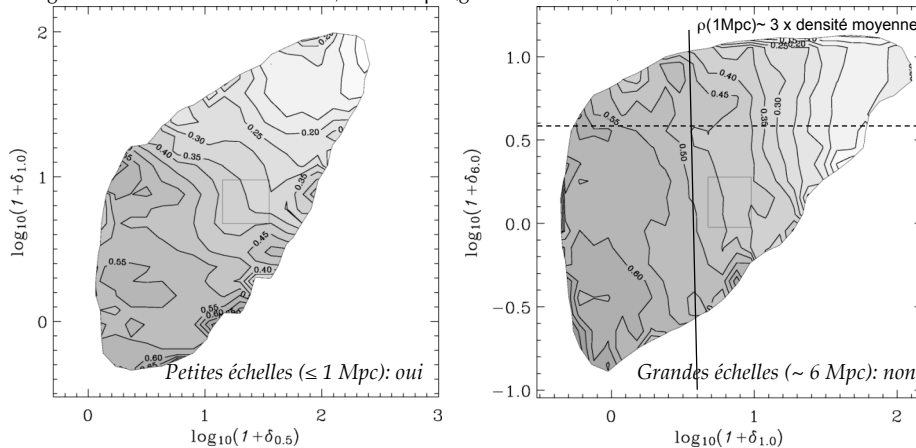
Dans le cas de la cosmologie actuelle, $H_0 \sim 72 \text{ km/s/Mpc}$ et donc $1 h^{-1} \text{ Mpc}$ correspond en réalité à 1.4 Mpc



Quelle échelle de distance affecte les galaxies ?

Blanton et al. (2006 ApJ 645, 977)

Fraction de galaxies bleues (formation stellaire active) en fonction de la densité locale de galaxies sur des échelles de 0.5, 1 et 6 Mpc (galaxies du SDSS)



Ces deux figures montrent que la fraction de galaxies bleues varie très peu avec les sur-densités de galaxies aux échelles de $6 \text{ h}^{-1} \text{ Mpc}$ ($\sim 8 \text{ Mpc}$), comme l'indiquent les lignes d' "iso-fraction": quand la sur-densité locale de galaxies sur des échelles de $1 \text{ h}^{-1} \text{ Mpc}$ est égale à 3 fois la densité moyenne à ces échelles, on ne voit aucune variation en fonction de celle à $6 \text{ h}^{-1} \text{ Mpc}$. Au contraire, quand elle est $3 \times$ moyenne à $6 \text{ h}^{-1} \text{ Mpc}$, celle à $1 \text{ h}^{-1} \text{ Mpc}$ varie entre 15 et 60% !

Galaxies J1 - David Elbaz

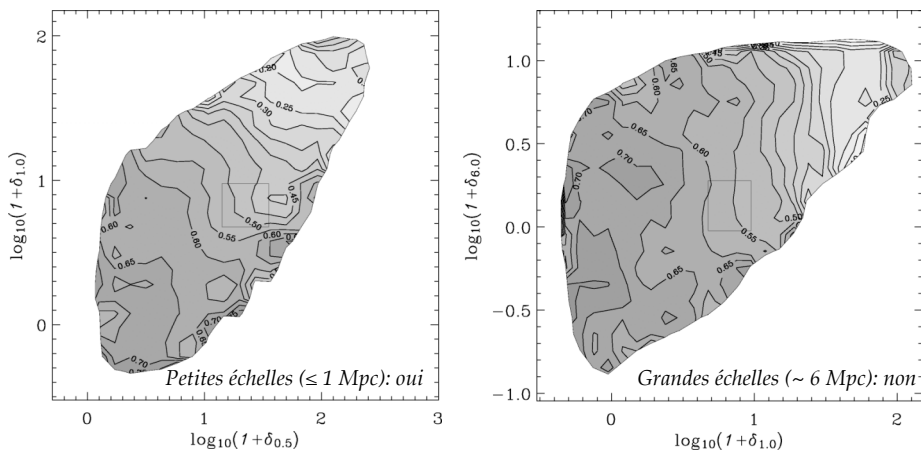
Bimodalité et environnement

Page 23

Quelle échelle de distance affecte les galaxies ?

Blanton et al. (2006 ApJ 645, 977)

Fraction de galaxies à formation stellaire active mesurée par la largeur équivalente de la raie $\text{H}\alpha$, en fonction de la densité locale de galaxies sur des échelles de 0.5, 1 et 6 Mpc.



Même tendance avec l'indicateur de formation d'étoiles instantané $\text{H}\alpha$ qu'avec la fraction de galaxies bleues: la variation la plus forte se produit aux échelle de $\sim 1 \text{ h}^{-1} \text{ Mpc}$, plus encore qu'à des échelles de $0.5 \text{ h}^{-1} \text{ Mpc}$.

Galaxies J1 - David Elbaz

Bimodalité et environnement

Page 24

Problématique

- Les études des galaxies proches a permis de mettre en évidence l'existence d'une relation entre la morphologie et l'environnement, ou encore l'histoire passée de formation d'étoiles, responsable de la couleur ou des propriétés spectrales des galaxies proches (D4000, H δ).
- Ces études restent limitées et ne permettent pas de remonter l'histoire de la formation-évolution des galaxies.
- Pour cela, on utilise des observations de champs profonds (deep surveys) qui permettent d'observer des galaxies distantes, combinées avec des modèles permettant d'interpréter ces observations.
- Les prochains chapitres du cours présentent ces observations et modèles.